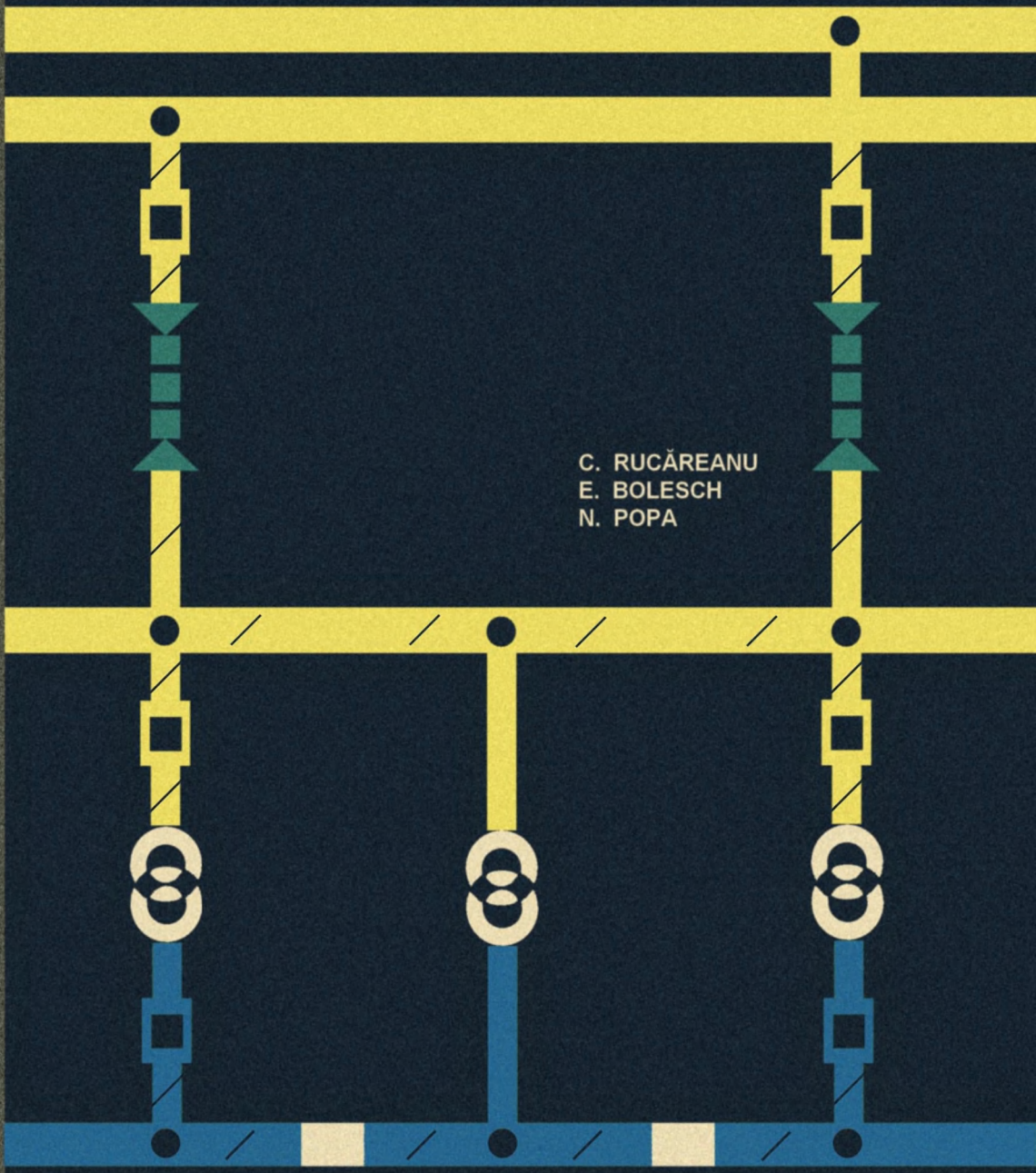


C. RUCĂREANU
E. BOLESCH
N. POPA

REȚELE ȘI STAȚII ELECTRICE

Manual pentru şcolile profesionale

Ing. C. RUCĂREANU
Ing. E. BOLESCH
Ing. N. POPA

REȚELE ȘI STAȚII ELECTRICE

Manual pentru școlile profesionale

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ – BUCUREȘTI, 1966

Manualul a fost elaborat
pe baza programei şcolare
aprobate de Ministerul Învăţământului

Referenţi :

ing. **Marin Ioniţă**
ing. **Anton Tudor**

Partea întîi

PRODUCEREA, TRANSPORTUL, DISTRIBUȚIA ȘI UTILIZAREA ENERGIEI ELECTRICE

Capitolul I

COMPONENȚA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

Dezvoltarea aplicațiilor electricității a făcut ca aceasta să se răspîndească tot mai mult, în toate ramurile industriei. Ca urmare, tehnica producerii, a transportului și a distribuției energiei electrice s-a dezvoltat din ce în ce mai mult, pentru a putea face față cererilor tot mai mari de energie electrică.

Energia electrică prezintă o serie de avantaje importante față de alte forme de energie :

— poate fi transformată ușor în orice altă formă de energie : mecanică, termică, luminoasă etc. ;

— poate fi transportată ușor și economic la distanțe mari (simultan cu producerea ei) ;

— poate fi distribuită la tensiuni și puteri diferite, după cerințele consumatorilor.

O caracteristică importantă a energiei electrice este că ea nu se poate înmagazina decît în cazuri deosebite și în instalații speciale (acumulatoare). În rest, energia electrică trebuie produsă în aceeași cantitate în care se consumă.

Pentru a se putea trage foloase cît mai mari, energia electrică trebuie produsă, transportată și distribuită în condiții economice cît mai avantajoase.

1. Producerea energiei electrice

Pe scară industrială, energia electrică este produsă în centrale electrice care pot fi : termoelectrice, hidroelectrice, dieselectrice, atomoelectrice, eoliene etc.

Centralele termoelectrice (termocentralele) folosesc energia calorică înmagazinată în combustibili (cărbuni, gaze, păcură, motorină, benzină etc.).

Ele se echipează cu turbine cu abur de puteri mari (de ordinul zecilor sau sutelor de megawați). Combustibilii folosiți sînt fie cărbunii inferiori (lignit inferior și turbă), fie gazele naturale sau păcura. În primul caz, din punct de vedere economic se recomandă ca centrala să se construiască chiar în vecinătatea minei de cărbuni, evitînd prin aceasta transportul la distanță mare al cărbunelui. Centralele care folosesc combustibili lichizi (păcură) sau gaze naturale nu comportă restricții cu privire la locul de exploatare a combustibilului.

Centralele hidroelectrice (hidrocentralele) folosesc energia de cădere a apei. Cheltuielile de investiții pentru construcția acestor centrale sînt mari, fiind necesare lucrări importante și de lungă durată. Totuși, energia electrică obținută este în general mai ieftină, deoarce nu se consumă combustibil, iar cheltuielile de întreținere și de exploatare sînt minime.

Centralele dieselectrice sînt de puteri mici și folosesc de obicei motoare cu ardere internă (Diesel). Ele necesită investiții reduse, dar cheltuielile pentru combustibil (motorină) și întreținere sînt mari. Centralele dieselelectrice sînt folosite pentru acoperirea consumului în orele cu încărcări maxime (de vîrf).

Centralele atomoelectrice folosesc energia atomică, adică energia produsă prin dezintegrarea (fisiunea) nucleelor atomice ale unor elemente grele (în special uraniu și plutoniu). Pentru producerea controlată a energiei atomice se folosesc așa-numitele reactoare nucleare, în care energia eliberată prin dezintegrare este transformată în căldură.

Centralele electroeoliene folosesc energia vîntului. Astfel de centrale se pot construi numai pentru puteri mici (de ordinul zecilor și sutelor de kilowați) și numai în regiunile unde vînturile bat regulat și cu o intensitate suficient de mare.

În prezent se experimentează construcția de *centrale helioelectrice,* care produc energie electrică direct din energia solară, prin folosirea unor oglinzi care captează razele de soare. În unele țări — cum ar fi Franța — unde condițiile geografice sînt favorabile, s-au construit centrale care folosesc energia mareelor (fluxul și refluxul mărilor sau oceanelor).

2. Transportul și distribuția energiei electrice

În general, locul de producere a energiei electrice este impus fie de existența exploatărilor miniere (la termocentrale), fie de cea a căderilor de apă (la hidrocentrale), iar energia electrică este cu atît mai ieftină, cu cît puterea centralelor este mai mare. În acest caz numărul lor este relativ redus.

Datorită acestor considerente, precum și faptului că punctele de consum

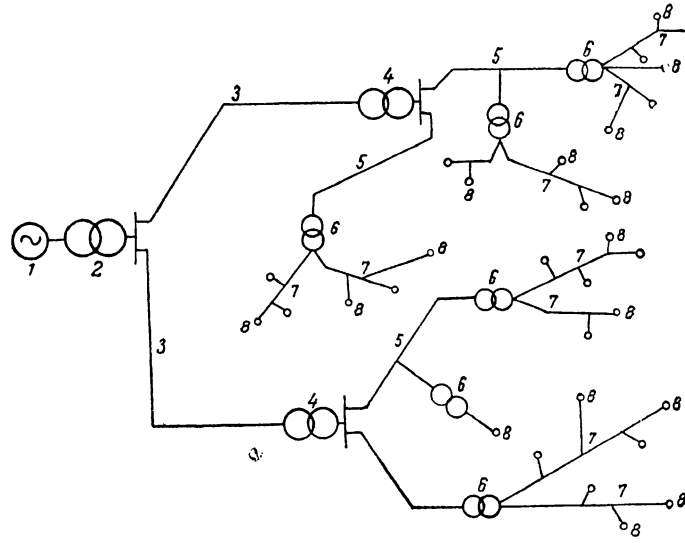


Fig. 1—1. Schema de principiu a unui sistem electroenergetic :

1 — centrala electrică; 2 — stația ridicătoare de tensiune; *3* — linii de transport de înaltă tensiune; *4* — stații coborîtoare de tensiune; *5* — linii de distribuție de înaltă tensiune; *6* — posturi de transformare; *7* — linii de distribuție de joasă tensiune; *8* — puncte de consum (receptoare).

de energie electrică sînt și ele impuse, rezultă că în majoritatea cazurilor energia electrică trebuie produsă într-un loc și consumată în alt loc.

Figura 1—1 reprezintă un exemplu de schemă a instalațiilor necesare transportului energiei electrice de la locul de producere la cel de utilizare.

Legăturile electrice dintre centralele producătoare de energie electrică și punctele de consum alcătuiesc în totalitatea lor *rețelele electrice.*

Centralele electrice sînt legate între ele (interconectate) prin linii de interconexiune. Interconexiunea este necesară pentru o mai bună repartizare a sarcinilor între centrale și pentru o mai mare siguranță în exploatare, centralele putînd să se ajute astfel între ele. Totalitatea acestor centrale, împreună cu stațiile electrice și cu liniile care le leagă, precum și cu instalațiile de utilizare respective constituie un *sistem electroenergetic.*

Sistemele electroenergetice pot fi regionale, naționale sau internaționale. În Republica Socialistă România sistemul electroenergetic național a fost realizat în anul 1959, spre sfîrșitul planului de electrificare de 10 ani, iar în 1964 sistemul electroenergetic al Republicii Socialiste România s-a integrat într-un sistem electroenergetic european.

3. Utilizarea energiei electrice

Scopul final al producerii, transportului și distribuției energiei electrice îl constituie utilizarea ei, adică transformarea energiei electrice într-o altă formă de energie folositoare. Acest lucru se realizează prin receptoare electrice.

Astfel, lămpile electrice transformă energia electrică în energie luminoasă, motoarele electrice în energie mecanică, cuptoarele electrice în energie termică etc.

Pentru ca utilizarea energiei electrice să se facă în bune condiții, aceasta trebuie să fie furnizată fără întrerupere, în cantitatea solicitată de consumator și de calitate corespunzătoare, adică cu tensiunea și frecvența variind între limitele admisibile.

Instalațiile electrice de utilizare (la consumator) se realizează de obicei la tensiuni joase, pînă la 1 000 V. În anumite cazuri, în special acolo unde se utilizează receptoare de puteri mari, se folosesc și instalații cu tensiuni mari (3, 6, 10 kV).

Instalațiile electrice la consumator cuprind atît receptoarele electrice propriu-zise (lămpi, motoare etc.), cît și rețelele și conductoarele care servesc la alimentarea lor directă, împreună cu aparatajul necesar (întrerupătoare, siguranțe, prize etc.).

Partea de instalație care face legătura între rețeaua electrică de distribuție și instalația de la consumator se numește branșament sau racord. Branșamentul poate fi aerian (exterior) sau subteran (prin cabluri).

Întrebări recapitulative

1. Care sînt avantajele energiei electrice față de alte forme de energie ?
2. Care sînt principalele tipuri de centrale electrice ?
3. Ce este un sistem electroenergetic ?
4. Ce este un branșament ?

Capitolul II

SISTEME DE DISTRIBUȚIE

Modul în care se alimentează receptoarele electrice (distribuția energiei electrice) depinde de felul curentului folosit (continuu sau alternativ), de tensiunile folosite, de modul cum sînt grupate și alimentate receptoarele etc.

După felul curentului, se deosebesc :
— distribuții în curent continuu ;
— distribuții în curent alternativ.
După felul cum sînt grupate receptoarele, se deosebesc :
— distribuții în serie ;
— distribuții în derivație.
După felul cum sînt alimentate receptoarele, se deosebesc :
— distribuții directe ;
— distribuții indirecte.

DISTRIBUȚIA ÎN CURENT CONTINUU

Primele rețele construite au fost de curent continuu. Sistemele energetice actuale sînt constituite numai din rețele de distribuție de curent alternativ. În unele localități mai există însă și astăzi rețele de distribuție de curent continuu, construite în trecut, care încă nu s-au înlocuit cu rețele de curent alternativ. De asemenea, se mai folosește distribuția în curent continuu la tracțiunea electrică (tramvaie, troleibuze).

Distribuția în curent continuu are dezavantajul că tensiunea rețelei și a receptoarelor trebuie să fie egală cu aceea a generatorului, deoarece curentul continuu nu se poate transforma. Or, se știe că la receptoarele electrice tensiunea trebuie să fie relativ mică (110—220 V la lămpile de iluminat și 220—800 V la motoare), iar tensiunea la care se transportă energia să fie cît mai mare, pentru a avea pierderi cît mai mici.

Distribuția în curent continuu se poate face în serie sau în derivație.

1. Distribuția în serie

În acest sistem de distribuție toate receptoarele sînt montate în serie și străbătute de același curent I. În schimb, tensiunea care se aplică fiecărui receptor este diferită, și anume este proporțională cu rezistența lui (R_1, R_2, ..., R_n). La acest sistem (fig. 2—1), pentru ca deconectarea unui receptor să nu producă deconectarea celorlalte, se recurge la șuntarea lor cu ajutorul unor întrerupătoare dimensionate pentru curentul nominal al rețelei.

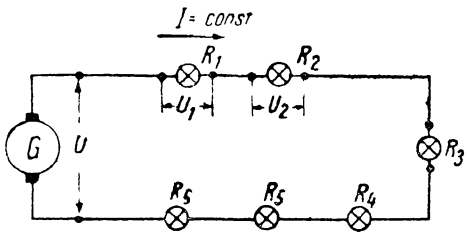


Fig. 2—1. Distribuție în serie.

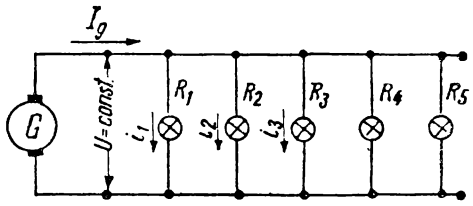


Fig. 2—2. Distribuție în derivație.

Sistemul are dezavantajul că tensiunea U a generatorului care este egală cu suma tensiunilor la borne (U_1, U_2, ..., U_n) ale tuturor receptoarelor (motoare sau lămpi electrice) pe care le alimentează, este variabilă în funcție de sarcină și devine foarte mare în cazul sarcinilor mari, prezentînd pericol pentru personalul de exploatare. În prezent, acest sistem nu mai este folosit. El s-a folosit la primele distribuții electrice construite la sfîrșitul secolului trecut.

2. Distribuția în derivație

La acest sistem de distribuție, care este cel mai obișnuit (fig. 2—2), receptoarele sînt montate în derivație. Între cele două conductoare alimentate de la generator se menține o tensiune constantă. Fiecare receptor absoarbe un curent mai mare sau mai mic (i_1, i_2, ..., i_n), după puterea lui, iar generatorul produce un curent I_g egal cu suma tuturor curenților absorbiți de receptoare :

$$I_g = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots + i_n. \qquad (2-1)$$

Pe măsura depărtării de generator, curentul din conductoarele de alimentare scade, deci se pot folosi conductoare cu secțiune mai mică. Pentru a soluționa problema alimentării motoarelor electrice la tensiuni mai mari decît cele folosite la alimentarea lămpilor electrice s-a realizat distribuția cu conductor median. La acest sistem de distribuție, cele două conductoare active au tensiunile de + 220 și —220 V, iar un conductor median (mijlociu) este la tensiunea zero (fig. 2—3).

Lămpile care trebuie alimentate la 220 V sînt conectate între unul dintre conductoarele sub tensiune și conductorul median. Motoarele care trebuie alimentate la 440 V sînt conectate între cele două conductoare active. În acest mod se obțin tensiuni potrivite pentru ambele tipuri de receptoare (L și M).

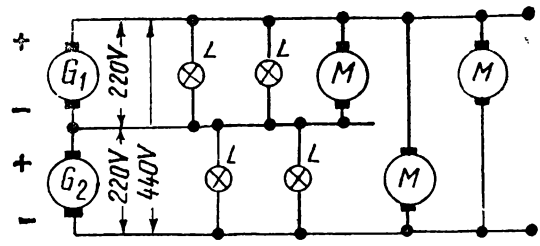


Fig. 2—3. Distribuție în derivație cu conductor median.

Acest sistem se mai numește și sistem de distribuție în curent continuu cu trei conductoare.

Întrebări recapitulative

1. De ce factori depinde distribuția energiei electrice?
2. Care sînt dezavantajele distribuției în seric în curent continuu?
3. Cum se face distribuția în derivație și în derivație cu conductor mediu în curent continuu?

DISTRIBUȚIA ÎN CURENT ALTERNATIV

Atunci cînd sînt de distribuit puteri mici și pe distanțe scurte se folosește distribuția directă, adică alimentarea receptoarelor se face direct de la sursa de energie (centrală)[1], fără să se mai transforme tensiunea (fig. 2—4). Acest sistem este asemănător cu distribuția în curent continuu și se folosește numai în cazul alimentării unui număr mic de consumatori de putere relativ mică.

[1] În joasă tensiune.

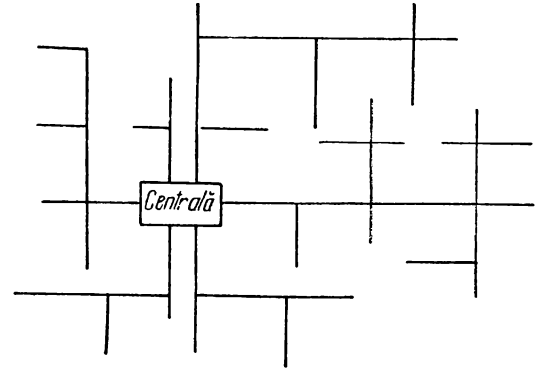


Fig. 2—4. Distribuție directă în curent alternativ.

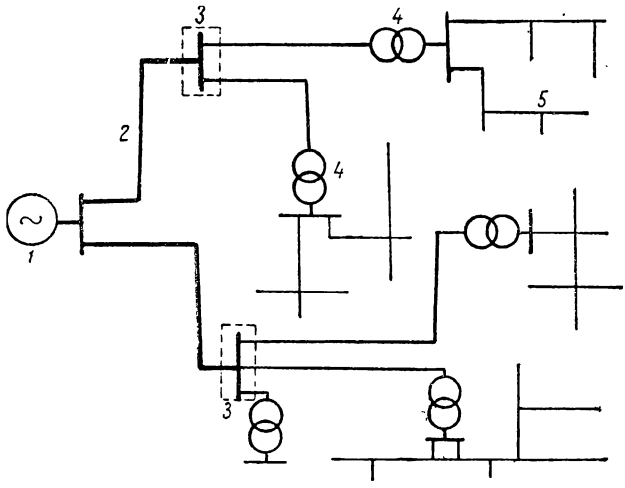


Fig. 2—5. Distribuție indirectă în curent alternativ :
1 — centrală electrică; *2* — fider; *3* — punct de alimentare; *4* — post de transformare; *5* — rețea de distribuție de joasă tensiune.

În majoritatea cazurilor se folosește distribuția indirectă (fig. 2—5), adică rețeaua de distribuție este alimentată de la centrală prin mai multe linii directe de alimentare (fideri) de înaltă tensiune (6—15 kV), care formează rețeaua de alimentare. Liniile directe sînt legate la punctele de alimentare și de la ele pornește rețeaua de distribuție propriu-zisă. Pe liniile directe de alimentare nu se leagă nici un consumator.

În orașele importante, pe lîngă rețeaua de alimentare a fiderilor există și o suprarețea de înaltă tensiune. De exemplu, în orașul București există o suprarețea de alimentare de 30 000 și 110 000 V, o rețea de alimentare de 5 000 V, o rețea de distribuție de înaltă tensiune, de asemenea, de 5 000 V și o rețea de distribuție de joasă tensiune de 380/220 și 208/120 V.

Din punctul de vedere al felului de grupare al receptoarelor, în curent alternativ se folosește numai distribuția în derivație.

După felul curentului alternativ folosit, se deosebesc : distribuția monofazată și distribuția trifazată.

1. Distribuția monofazată

Distribuția monofazată este asemănătoare celei de curent continuu. Pentru fiecare circuit sînt necesare două conductoare.

Distribuția monofazată se folosește pentru iluminat, pentru alimentarea aparatelor electrocasnice, a unor motoare de putere mică etc. Tensiunile standardizate sînt de 127 și 220 V.

Formulele de bază ale distribuției monofazate în curent alternativ sînt :

$$I_w = I \cos \varphi ; \qquad (2-2)$$

$$I_{dw} = I \sin \varphi ; \qquad (2-3)$$

în care :

I este curentul total ;
I_w — curentul wattat (în fază cu tensiunea) ;
I_{dw} — curentul dewattat (defazat cu 90° față de tensiune) ;
φ — unghiul de defazaj dintre curent și tensiune.
În ceea ce privește puterea, ea se poate exprima în mai multe feluri :
— putere aparentă $S = UI$ (voltamperi) ;
— putere activă (wattată) $P = UI \cos \varphi$ (waţi) ;
— putere reactivă (dewattată) $Q = UI \sin \varphi$ (vari).

2. Distribuția trifazată

În curent alternativ trifazat distribuția se poate face cu legături în triunghi, cu legături în stea fără conductor neutru și legături în stea cu conductor neutru.

În primele două cazuri se folosesc trei conductoare, iar în ultimul caz patru conductoare.

Schema legăturii în triunghi este reprezentată în figura 2—6. Cele trei bobinaje sînt bobinajele generatorului sau ale secundarului unui transformator. La legătura în triunghi există relațiile

$$U_f = U ; \qquad (2-4)$$

$$I_f = \frac{I}{\sqrt{3}}, \qquad (2-5)$$

Fig. 2—6. Distribuție trifazată cu legătură în triunghi :
R, S, T, — fazele rețelei ; *I* — curentul pe fază ; *U* — tensiunea între faze ; *L* — lămpi ; *M* — motoare.

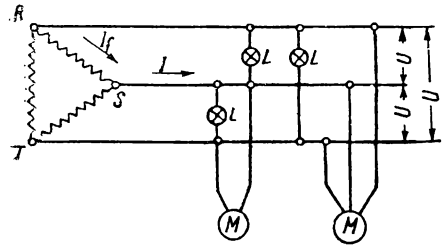
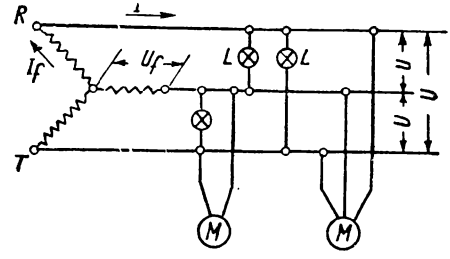


Fig. 2—7. Distribuție trifazată cu legătură în stea, fără conductor neutru.



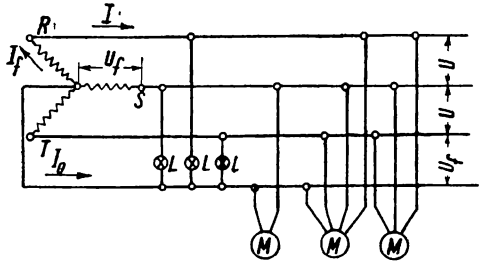


Fig. 2—8. Distribuție trifazată cu legătură în stea, cu conductor neutru.

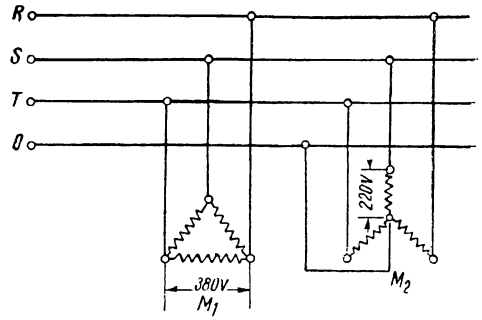


Fig. 2—9. Modul de legare a motoarelor pentru exemplul 2 :
M_1 — motor cu legătură în triunghi; M_2 — motor cu legătură în stea.

în care :

U este tensiunea între două faze ale liniei ;
U_f — tensiunea între o fază și nul ;
I — curentul de linie ;
I_f — curentul pe o fază.

Schema legăturii în stea fără conductor neutru este reprezentată în figura 2—7, iar a legăturii în stea cu conductor neutru în figura 2—8.

Pentru ambele cazuri există relațiile :

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad (2-6)$$

$$I_f = I. \qquad (2-7)$$

În oricare dintre cele trei distribuții trifazate puterea este dată de relațiile :

$$S = \sqrt{3}\, UI ; \qquad (2-8)$$

$$P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi = S \cos \varphi ;$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi = S \sin \varphi .$$

Exerciții

Exemplul 1. Ce tensiune trebuie să furnizeze un generator de curent continuu pentru a alimenta în serie 8 lămpi a 110 V?

$$U_g = 8 \cdot 110 = 880 \text{ V}.$$

Exemplul 2. Un generator de curent continuu de 3 kW alimentează un motor de 1,3 kW. Cîte lămpi de 100 W mai poate alimenta acest generator?

$$P_1 = 3 - 1{,}3 = 1{,}7\text{kW} = 1\,700\text{W};$$

$$n = \frac{P_1}{100} = \frac{1\,700}{100} = 17 \text{ lămpi.}$$

Exemplul 3. O rețea trifazată cu conductor neutru are tensiunea între faze de 380 V. La ce tensiune vor fi alimentate lămpile electrice?

$$U = 380\text{V}.$$

Lămpile vor fi legate între o fază și conductorul neutru, adică la tensiunea

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1{,}73} = 220\text{V}.$$

Exemplul 4. Cum se leagă la o rețea trifazată cu conductor neutru, cu tensiunea de 380/220 V, un motor electric trifazat avînd bobinajul unei faze construit pentru 380 V? Dar unul construit pentru 220V? Care este valoarea curentului absorbit de primul motor, dacă el are puterea $P = 5$ kW și $\cos\varphi = 0{,}8$?

Motoarele se leagă ca în figura 2—9.

Primul se leagă în triunghi, pentru ca asupra unei faze să se aplice 380 V, iar al doilea în stea, pentru ca asupra unei faze să se aplice tensiunea

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1{,}73} = 220\text{V}.$$

Valoarea curentului pentru oricare dintre cele două motoare se determină astfel:

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi;$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{5\,000}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}8} = 9{,}5\text{A}.$$

Întrebări recapitulative

1. Ce se înțelege prin distribuția directă și distribuția indirectă?
2. Ce este un fider de alimentare?
3. Ce este un punct de alimentare?
4. Care sînt expresiile puterii în curent alternativ monofazat și trifazat?
5. Ce deosebire este între legătura (conexiunea) în triunghi și cea în stea?
6. Ce valoare are puterea reactivă cînd $\cos\varphi = 1$?

Capitolul III

REȚELE ELECTRICE

CLASIFICAREA REȚELELOR ELECTRICE ȘI A CONSUMATORILOR

Rețelele electrice se pot clasifica după mai multe criterii, și anume : După tensiunea de funcționare :

— rețele de joasă tensiune, cu tensiuni de funcționare pînă la 1 kV ;

— rețele de înaltă tensiune, cu tensiuni de funcționare peste 1 kV.

După rolul pe care îl îndeplinesc :

— rețele de distribuție, care alimentează mai multe stații, posturi sau consumatori ;

— rețele de transport, care servesc numai la transportul energiei electrice, fără să o distribuie.

După mediul în care sînt montate :

— rețele aeriene ;

— rețele subterane sau în cablu.

După importanța lor, rețelele se împart în două mari categorii :

— rețele de importanță locală (comunale și industriale) ;

— rețele de importanță generală.

Rețelele de importanță locală alimentează un oraș sau un sat, o întreprindere industrială sau un grup de întreprinderi și localități situate în apropiere.

După felul consumatorilor alimentați acestea se împart în: rețele industriale și rețele comunale (rețele de iluminat public, rețele de iluminat particular, rețele rurale etc.).

Rețelele de importanță generală alimentează mai multe orașe sau sate și întreprinderi industriale situate la distanțe relativ mari.

Alegerea schemei de legături (conexiuni) a unei rețele este de cea mai mare importanță pentru buna funcționare a acesteia.

Pentru consumatorii importanți la care întreruperea energiei conduce la defecțiuni grave sau pune în pericol chiar viața oamenilor, se alege o schemă care să prezinte o siguranță cît mai mare. Pentru consumatorii de mai mică importanță se aleg scheme mai simple, mai ieftine.

Mărirea siguranței în funcționare a rețelelor se realizează practic printr-o serie de măsuri tehnice : prevederea unor instalații de rezervă, care

la nevoie să intre eventual în mod automat în funcțiune, împărțirea instalației în mai multe sectoare, astfel ca un deranjament să fie localizat într-o zonă cît mai mică, folosirea unor aparate de comandă și de protecție cît mai perfecționate etc.

După importanța lor, consumatorii de energie electrică se împart în trei categorii :

Categoria I. Consumatori cu sarcini importante, pentru care întreruperea alimentării cu energie electrică prezintă pericole pentru viața oamenilor, sau produc rebuturi în producție, defectarea utilajului, oprirea îndelungată a întreprinderii, întîrzieri nepermise pentru restabilirea procesului tehnologic, dezechilibrarea funcționării transporturilor electrificate sau dezorganizarea vieții unei localități importante din punct de vedere economic, cultural sau administrativ.

Categoria II. Consumatori cu sarcini importante, dar pentru care întreruperea alimentării cu energie electrică poate însemna numai neîndeplinirea normei de producție.

Categoria III. Consumatori cu sarcini electrice mai puțin importante, ca de exemplu raioanele agricole, secțiile auxiliare ale uzinelor, întreprinderi industriale mici cu un singur schimb de lucru, unii consumatori urbani etc.

Pentru primele două categorii de consumatori trebuie să se prevadă alimentare de rezervă și să se ia unele măsuri tehnice care să asigure cerințele față de calitatea energiei electrice livrate.

REȚELE DE IMPORTANȚĂ LOCALĂ — REȚELE COMUNALE

Rețele comunale. Principalii consumatori racordați la aceste rețele sînt lămpile de iluminat, aparatele de uz casnic (reșouri, fiere de călcat, răcitoare electrice etc.) și motoarele electrice de puteri relativ mici.

Acești consumatori sînt răspîndiți uneori pe suprafețe mari, sarcinile fiind în general uniform distribuite. În asemenea cazuri, rețelele comunale sînt formate, în general, dintr-o rețea de înaltă tensiune și dintr-una de joasă tensiune, așa cum se vede în figura 3—1.

Rețeaua de înaltă tensiune este de 6, 10 sau 15 kV și uneori de 35 kV.

Rețeaua de joasă tensiune este trifazată (cu fir neutru) de 380/220 V și uneori de 220/127 V.

Rețeaua de înaltă tensiune poate fi compusă din două părți distincte, și anume :

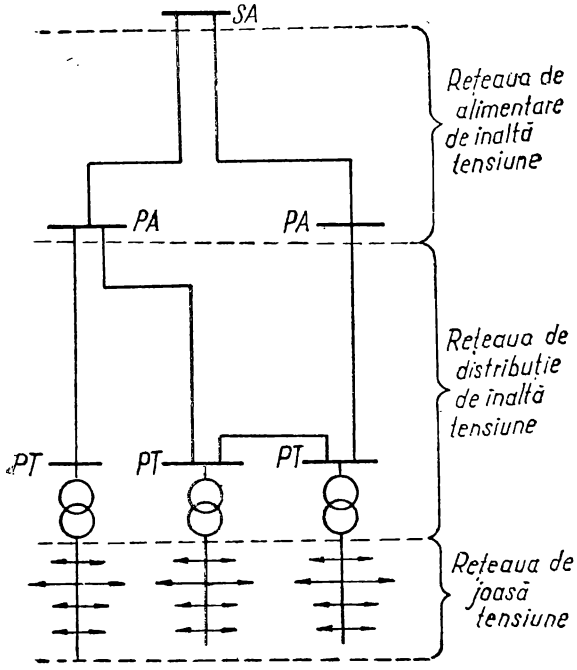


Fig. 3—1. Schema unei rețele comunale :
SA — sursa de alimentare; *PA* — punct de alimentare; *PT* — post de transformare.

— rețeaua de alimentare, prin care se transmite energia de la sursele de alimentare *SA* (centrale electrice sau stații de transformare) pînă la punctele de alimentare *PA* (fig. 3—1) ;

— rețeaua de distribuție de înaltă tensiune, prin care se transmite energia de la punctele de alimentare la posturile sau stațiile de transformare, care transformă energia la tensiune joasă.

Aceste rețele se găsesc numai în orașele mari. În orașele mai puțin importante din punct de vedere economic și în orașele mici, punctele de alimentare pot să lipsească, energia trimițîndu-se direct la posturile de transformare sau se utilizează alte scheme simplificate.

Rețeaua de joasă tensiune. Cel mai simplu tip de rețea comunală de joasă tensiune este rețeaua ramificată, numită și rețea arborescentă sau rețea radială. După cum se vede în figura 3—1, de la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare pornesc o serie de ramuri, care urmează, în general, traseele străzilor și la care sînt racordați consumatorii.

Acest tip de rețea este simplu și economic. Pentru a mări siguranța alimentării se pot executa legături suplimentare care se închid la nevoie,

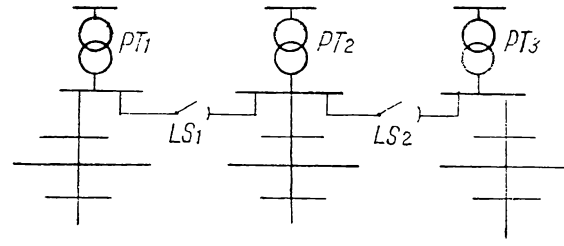


Fig. 3—2. Rețea buclată.

putînd alimenta anumite porțiuni ale rețelei, fie dintr-un post, fie din alt post de transformare.

În cazul unor consumatori mai importanți, în special în orașe, rețeaua ramificată nu prezintă suficientă siguranță în alimentare. De aceea se execută rețele închise (buclate), cum este cea din figura 3—2. La această rețea, în cazul defectării unui post de transformare, de exemplu PT_1 consumatorii conectați la acest post pot fi alimentați din postul PT_2, prin intermediul legăturii de siguranță LS_1. În acest mod siguranța în alimentare este mai mare.

În orașele mari, pentru mărirea siguranței de funcționare se folosesc rețele buclate cu mai multe posibilități de alimentare, atît pe partea de înaltă, cît și pe cea de joasă tensiune.

Întrebări recapitulative

1. După ce criterii se pot clasifica rețelele electrice?
2. Cum se clasifică rețelele electrice după importanța lor?
3. Care sînt categoriile de consumatori?
4. Din ce se compune o rețea comunală de înaltă tensiune? Dar una de joasă tensiune?

REȚELE INDUSTRIALE. REȚELE DE IMPORTANȚĂ GENERALĂ

1. Rețele industriale

Pentru sistemul energetic, întreprinderile industriale sînt consumatori concentrați. În funcție de importanța consumatorului se stabilește modul de alimentare. Un astfel de consumator, de exemplu o fabrică, este constituit

dintr-o serie de consumatori mai mici, grupați în anumite zone ale fabricii sub forma unor ateliere, hale de producție, birouri etc. Cea mai mare parte din acești consumatori sînt receptoare de forță: motoare, cuptoare electrice, redresoare, aparate de sudare etc. Pentru alimentarea lor este nevoie de o rețea de joasă tensiune (380/220 V) și uneori de una de înaltă tensiune (3—6 kV). Majoritatea receptoarelor se racordează la rețeaua de joasă tensiune, însă unele din ele, cum ar fi anumite motoare de putere mare, se racordează direct la rețeaua de înaltă tensiune.

Rețeaua electrică de distribuție de înaltă și de joasă tensiune, din interiorul întreprinderii, trebuie să fie astfel realizată ca să asigure puterile diferiților consumatori, să se aibă în vedere amplasarea lor și gradul de importanță al fiecăruia.

Ca rețele de înaltă tensiune, în cazul consumatorilor concentrați se folosesc rețele radiale (ramificate) cu una sau două linii de alimentare (în funcție de importanța consumatorului) și cu unul sau mai multe posturi de transformare, după necesități.

Între posturi se poate face, la nevoie, legătura pe partea de înaltă tensiune sau pe partea de joasă tensiune.

Rețelele de joasă tensiune industriale pot fi, ca și rețelele comunale, radiale sau buclate.

2. Rețele de importanță generală

Schemele cele mai obișnuite pentru rețelele de importanță generală sînt: rețeaua liniară simplă, rețeaua liniară dublă și rețeaua buclată.

Rețeaua liniară simplă (fig. 3—3) se folosește în cazul rețelelor mai puțin importante. Prin această rețea se alimentează succesiv cîteva posturi de transformare: PT_1, PT_2 și PT_3. Racordarea posturilor la linie se face printr-o simplă derivație din linia principală, folosind separatoarele S_1, S_2 și S_3. Schema este avantajoasă din punct de vedere economic și este simplă; în schimb, siguranța în exploatare este mică, localizarea defectelor făcîndu-se greu.

În rețeaua liniară dublă există două linii de alimentare, racordarea la diferite posturi de transformare făcîndu-se din ambele linii. Această rețea este mai scumpă, însă în cazul unui defect pe una din linii, consumatorii pot fi alimentați prin cea de a doua linie.

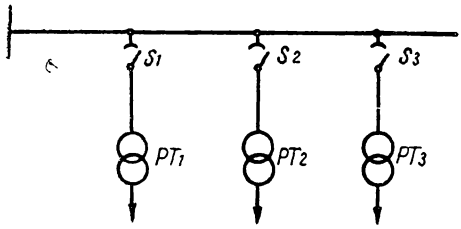


Fig. 3—3. Rețea liniară simplă.

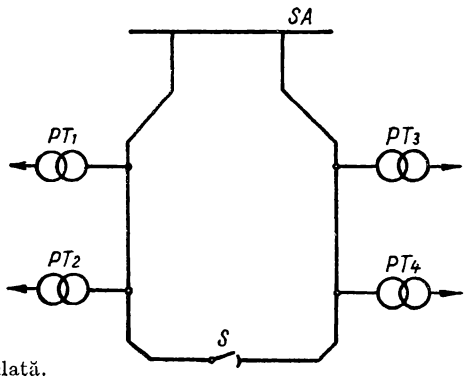


Fig. 3—4. Rețea buclată.

La rețeaua buclată (fig. 3—4) se formează un inel din care se face legătura la diferitele stații de transformare. În cazul unui defect se scoate din funcțiune un sector al buclei, iar celălalt rămîne în funcțiune.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt caracteristicile unei rețele industriale?
2. Ce sînt rețelele de importanță generală?
3. Care sînt schemele folosite în rețelele de importanță generală?
4. Care sînt avantajele rețelelor buclate?

Capitolul IV

INSTALAȚII ELECTRICE INTERIOARE

Instalațiile electrice de la consumatori cuprind atît receptoarele electrice propriu-zise, cît și rețelele si conductoarele care servesc la alimentarea lor directă, împreună cu aparatajul respectiv.

Instalațiile de la consumator pot cuprinde rețele exterioare (linii aeriene), rețele subterane (cabluri) și instalații interioare (care se montează în interiorul clădirilor).

ELEMENTELE INSTALAȚIILOR INTERIOARE

1. Conductoare electrice

După felul lor, conductoarele electrice se pot clasifica în : conductoare neizolate, conductoare izolate și conductoare învelite.

Conductoarele neizolate se folosesc la liniile aeriene și foarte rar la instalațiile electrice interioare.

Conductoarele izolate au peste conductorul propriu-zis unul sau mai multe straturi izolante și protectoare. Cînd peste aceste straturi se găsește și o manta etanșă, conductoarele respective sînt denumite cabluri.

Conductoarele învelite au un strat protector, care însă nu se ia în considerare din punct de vedere electric, ci numai ca rezistență la intemperii.

Conductoarele pentru instalații interioare sînt de obicei de aluminiu sau de cupru. Pentru economisirea cuprului, care este relativ scump, normativele prevăd utilizarea aluminiului, cu excepția următoarelor cazuri :

— în clădirile frecventate de multă lume (teatre, cinematografe, cluburi, muzee, biblioteci) ;

— în încăperile umede sau cu vapori care atacă aluminiul ;

— în încăperile cu pericol de incendiu sau de explozie ;

— în instalațiile consumatorilor de categoria I ;

— în instalațiile de legare la pămînt și în circuitele de comandă, măsurare și protecție.

Conductoarele izolate se fabrică cu secțiunile standardizate : 0,75 ; 1 ; 1,5 ; 2,5 ; 4 ; 6 ; 10 ; 16 ; 25 ; 35 ; 50 ; 70 ; 95 ; 120 ; 150 ; 185 ; 240 ; 300 și 400 mm^2.

Conductoarele izolate cele mai des întrebuințate sînt de tipul F 500 (cupru) și AF 500 (aluminiu) cu izolație de cauciuc (fig. 4—1).

Pentru instalațiile mobile se utilizează conductoare cu izolație similară, însă flexibile de tipul Ff 500 și foarte flexibile de tipul Mff 500.

Pentru branșamente și instalații în aer liber se utilizează conductoare învelite, rezistente la intemperii, de tipul FI pentru cupru și de tipul AFI pentru aluminiu (fig. 4—2).

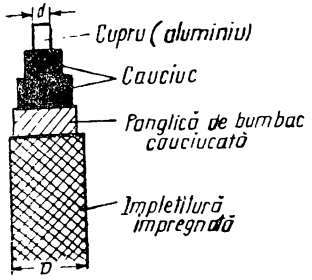


Fig. 4—1. Conductor F 500 cu izolație de cauciuc.

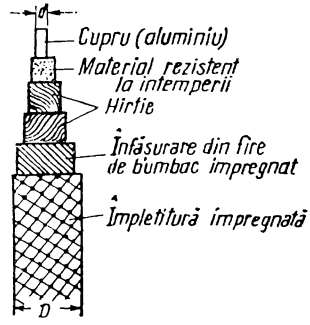


Fig. 4—2. Conductor învelit, rezistent la intemperii.

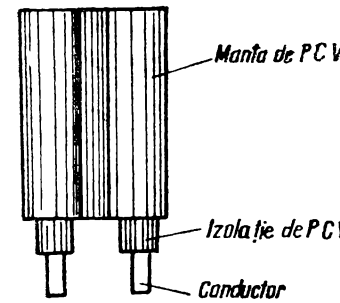


Fig. 4—3. Conductor *INTENC*.

De asemenea se fabrică conductoare cu izolație de policlorură de vinil PCV (material plastic), care pot înlocui conductoarele F 500 și AF 500.

Conductoare de tipul *INTENC* (fig. 4—3) din 1, 2 sau 3 conductoare izolate cu policlorură de vinil, se utilizează pentru executarea instalațiilor interioare uscate, fiind îngropate direct în tencuială (de aici denumirea de *INTENC*).

2. Tuburi izolante și de protecție

Pentru a fi ferite de lovituri, umezeală sau praf și uneori pentru a li se asigura o izolație suplimentară, conductoarele se introduc în tuburi izolante și de protecție.

După gradul de protecție pe care îl asigură, tuburile de protecție sînt de mai multe tipuri.

a) Tuburile izolante ușor protejate tip IP (STAS 546—49) sînt cele mai răspîndite în instalațiile electrice interioare, în special în clădirile de locuit. Un astfel de tub este construit dintr-o tablă de oțel plumbuită *1*, groasă de 0,15—0,22 mm, îmbinată prin fălțuire, care cuprinde în interior un tub de carton *2*, impregnat cu bitum (fig. 4—4).

Aceste tuburi se montează îngropat (sub tencuială) sau aparent (pe tencuială), atunci cînd nu există pericolul unor lovituri mecanice.

Tuburile IP sînt de diferite dimensiuni. Diametrele interioare ale tuburilor sînt: 9, 11, 13,5, 15, 23, 29, 36 și 48 mm. Diametrul tubului se alege în funcție de numărul și de secțiunea conductoarelor care se montează în tub.

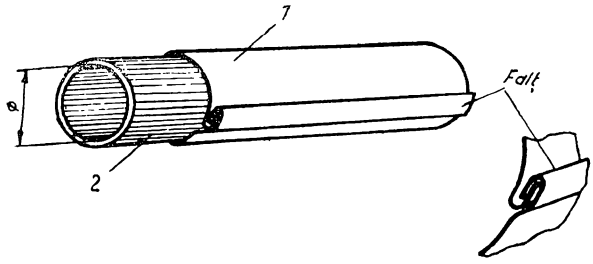


Fig. 4—4. Tub izolant ușor protejat tip IP.

Pentru fixarea tuburilor IP se folosesc scoabe cu una sau cu două urechi. Pentru ramificații se întrebuințează doze rotunde sau pătrate.

b) Tuburile de protecție tip P (STAS 549—49) sînt executate din tablă de oțel, cu marginile petrecute una peste alta (fig. 4—5). Nu au izolație în interior, în schimb au o rezistență mecanică mai mare decît tuburile IP.

Tuburile de protecție tip P se întrebuințează numai în montaj aparent, în încăperi uscate, acolo unde există pericolul unor lovituri mecanice; au diametrele interioare de: 14, 18, 26 și 37 mm.

La montarea tuburilor tip P se folosesc o serie de accesorii: curbe și semicurbe din tablă de oțel laminat, coturi și teuri de fontă; manșoane (piese intermediare) de legătură; scoabe cu una sau cu două urechi; doze de ramificație de fontă sau tablă de oțel.

c) Tuburile izolante de protecție etanșe tip IPE (STAS 549—49) sînt constituite dintr-un înveliș din tablă de oțel laminată și sudată pe generatoare *1* și un tub de carton impregnat cu bitum *2* (fig. 4—6).

Tuburile IPE pot fi întrebuințate în montaj aparent sau îngropat, în instalații supuse loviturilor mecanice, în încăperi umede sau cu vapori corosivi etc. Au diametrele interioare normalizate de: 11, 13,5, 16, 21, 29, 36 și 42 mm.

Fig. 4—5. Tub de protecție tip P.

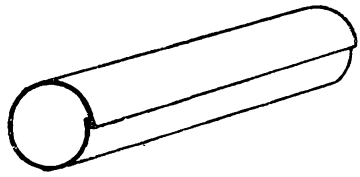
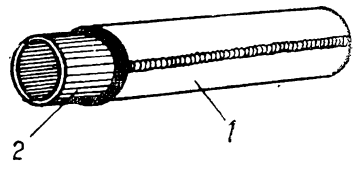


Fig. 4—6. Tub izolant de protecție etanș tip IPE.



La montarea tuburilor IPE se folosesc următoarele accesorii: coturi din fontă care se îmbină cu tuburile prin filetare; manșoane filetate pentru îmbinare; scoabe cu una sau cu două urechi; doze de ramificație din fontă.

d) Țevile de oțel fără sudură (STAS 403—57) nu se fabrică în mod special pentru protecția conductoarelor electrice, însă pot înlocui uneori tuburile tip P.

e) Tuburile din policlorură de vinil (PCV) se întrebuințează în ultimul timp, înlocuind tuburile de tip IP. Se utilizează, în general, în montaj îngropat; sînt ieftine și se prelucrează ușor pe șantier, prin încălzire. Pentru ramificații se utilizează dozele tuburilor IP.

3. Izolatoare și role

La unele instalații interioare, care se execută neîngropat cu conductoare izolate sau neizolate, pentru susținerea conductoarelor se folosesc izolatoare-role sau pe scurt, role.

4. Siguranțe fuzibile

Siguranțele servesc pentru protejarea conductoarelor împotriva supraîncălzirii, atunci cînd curentul este mai mare decît cel admis.

Cele mai obișnuite siguranțe sînt cele cu fuzibil, adică cele cu un fir sau cu o lamelă, care se topesc atunci cînd intensitatea curentului care trece prin ele depășește o anumită valoare.

Siguranțele cu filet sînt cele mai frecvent întîlnite. Ele sînt formate din patru piese principale: soclul, capacul filetat, patronul fuzibil și piesa de contact (fig. 4—7).

Există siguranțe tubulare, în care firul sau placa fuzibilă sînt montate într-un tub de porțelan (fig. 4—8) și siguranțe cu mîner de bachelită sau porțelan, unde lamela fuzibilă, de obicei de zinc, se prinde între contactele siguranței.

5. Întrerupătoare și comutatoare de mică putere

Întrerupătoarele sînt aparate care închid sau deschid, sub sarcină, unul sau mai multe circuite electrice. Ele au două poziții stabile de funcționare, una de circuit închis și una de circuit deschis.

Comutatoarele sînt aparate care înlocuiesc o porțiune de circuit cu alta sau care modifică succesiv conexiunile unuia sau ale mai multor circuite.

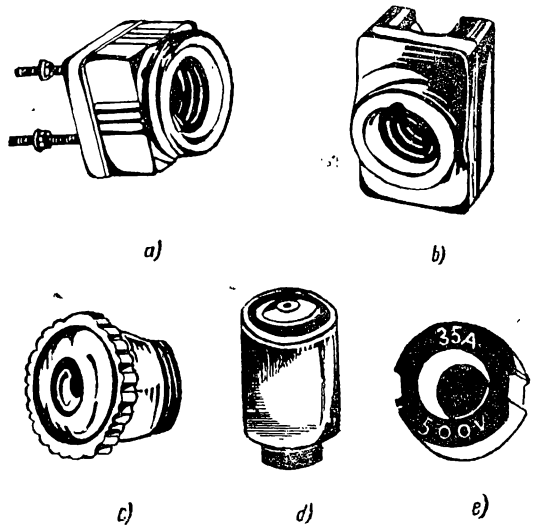


Fig. 4—7. Siguranțe fuzibile cu filet :
a — soclu de siguranță *LS*; *b* — soclu de siguranță *LF*; *c* — capac filetat; *d* — patron fuzibil; *e* — piesă de contact.

Pentru iluminat se întrebuințează întrerupătoare și comutatoare rotative, basculante și pendulare. Fiecare din ele se confecționează atît pentru montaj aparent, cît și pentru montaj îngropat (fig. 4—9).

În instalațiile industriale se folosesc întrerupătoare tip pachet, care sînt mai robuste și pot întrerupe curenți de intensitate mai mare, avînd viteza de deschidere a contactelor mai mare.

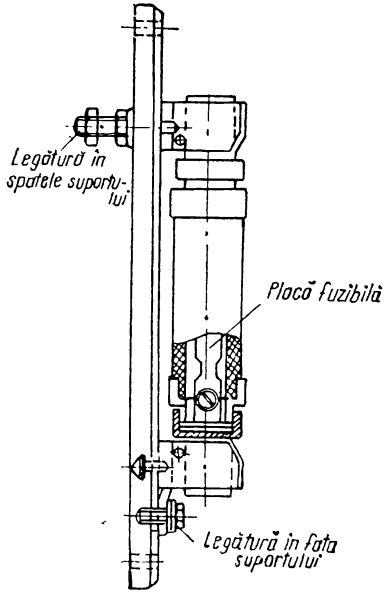


Fig. 4—8. Siguranță tubulară.

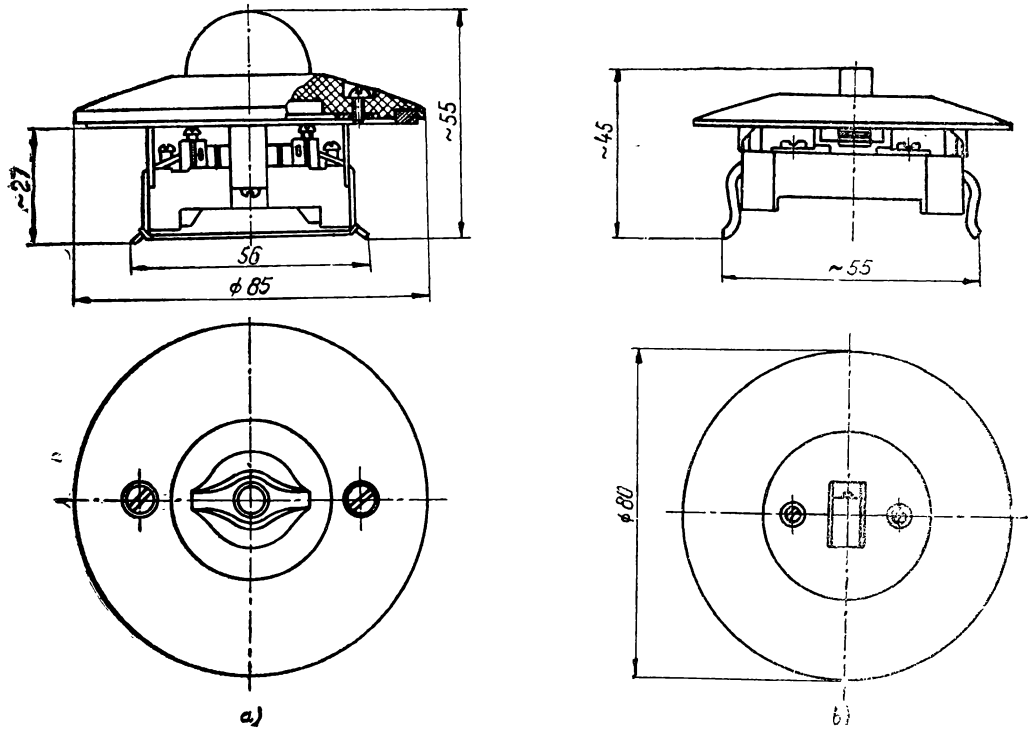


Fig. 4—9. Întrerupătoare pentru montaje îngropat :
a — rotativ ; *b* — basculant.

Pe tablourile electrice se folosesc întrerupătoare și comutatoare cu pîrghie, a căror acționare se face manual, prin intermediul unui mîner izolant. În figura 4—10 este reprezentat un întrerupător cu pîrghie montat pe o placă izolantă și prevăzut cu capac de protecție a pieselor care sînt sub tensiune.

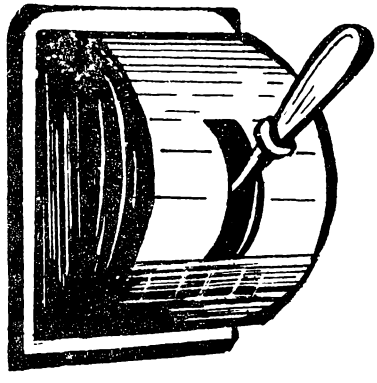


Fig. 4—10. Întrerupător cu pîrghie (heblu) cu capac de protecție.

6. Armături de racordare

Armăturile de racordare servesc pentru legarea consumatorilor de energie electrică (motoare electrice, aparate electrice, becuri electrice) la instalație.

Pentru racordarea aparatelor mobile se folosesc prize și fișe de diferite tipuri și forme. După numărul fazelor pe care le racordează se pot împărți în : monofazate (bipolare) și trifazate.

Pentru unirea a două conducte mobile se întrebuințează prelungitoare formate dintr-o piesă similară prizei și o fișă.

Pentru racordarea lămpilor electrice se folosesc dulii electrice. Ele se clasifică astfel : format normal (edison), format mic (mignon) și format mare (goliat).

7. Tablouri de distribuție

Tablourile de distribuție de joasă tensiune reprezintă punctele de alimentare ale instalațiilor interioare. Pe tablouri se montează diferite aparate de manevră, protecție și control : siguranțe, întrerupătoare, reostate, contoare, voltmetre etc. Pe tablourile de distribuție se face ramificarea circuitelor de alimentare după necesități. De obicei se folosesc tablouri separate pentru forță și pentru iluminat.

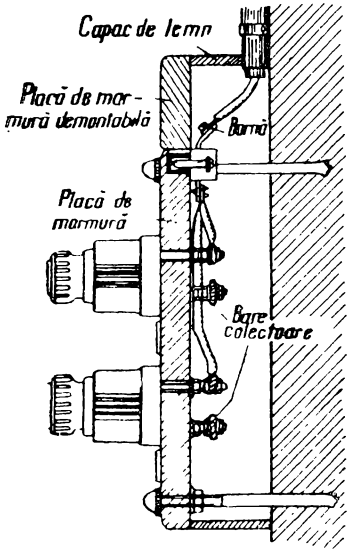


Fig. 4—11. Tablou de marmură fixat pe zid.

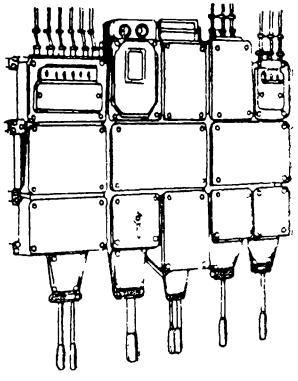


Fig. 4—12. Tablou capsulat.

După felul construcției lor, tablourile sînt :
— deschise (neprotejate contra loviturilor mecanice) ;
— protejate (în cutii, dulapuri, cofrete) ;
— capsulate (etanșe la umezeală, praf, acizi).

După materialul din care sînt construite, tablourile pot fi : de marmură (fig. 4—11) sau de metal.

Pentru contoare se utilizează tablouri metalice de tablă de oțel presată, vopsită în exterior cu lac negru și în interior cu vopsea neagră mată.

În încăperi umede, cu praf, gaze sau vapori corosivi se utilizează tablourile capsulate (fig. 4—12). Acestea sînt formate dintr-un ansamblu de cutii metalice, care conțin în interior barele conductoare, precum și diferite aparate electrice legate conform schemei instalației.

Cutiile metalice se execută din fontă turnată și se montează pe un stelaj metalic. În caz de nevoie, la o mărire a instalației, tabloul se poate extinde prin montarea unor cutii suplimentare.

Pentru instalațiile de forță importante tablourile se fac din panouri metalice cu stelaje de oțel.

8. Armături pentru branșamente

Branșamentul sau racordul reprezintă legătura dintre rețeaua de distribuție publică și instalația abonatului.

Branșamentele pot fi aeriene sau subterane, după cum și rețeaua de distribuție publică este aeriană sau subterană.

La rețelele aeriene branșamentul este format din clemele de ramificație de la stîlpi, conductoarele de legătură și consolele de intrare în imobil.

Conductoarele de legătură sînt învelite, rezistente la intemperii, de tipul FI și AFI.

Intrarea aeriană în imobil se realizează fie direct, prin legarea conductoarelor la izolatoare fixate pe perete, fie indirect, prin intermediul unei console verticale fixate pe peretele clădirii (fig. 4—13).

La clădirile la care prin legarea racordului la perete nu se obține o înălțime suficientă față de sol, se utilizează o consolă fixată pe acoperiș, prin intermediul căreia se introduc conductoarele în clădire.

La rețelele subterane racordul exterior este format din cablul subteran armat, derivat din cablul subteran de distribuție de pe stradă ; acesta se termină într-un cofret de branșament (fig. 4—14), care cuprinde cutia terminală a cablului și un mic tablou cu siguranțe.

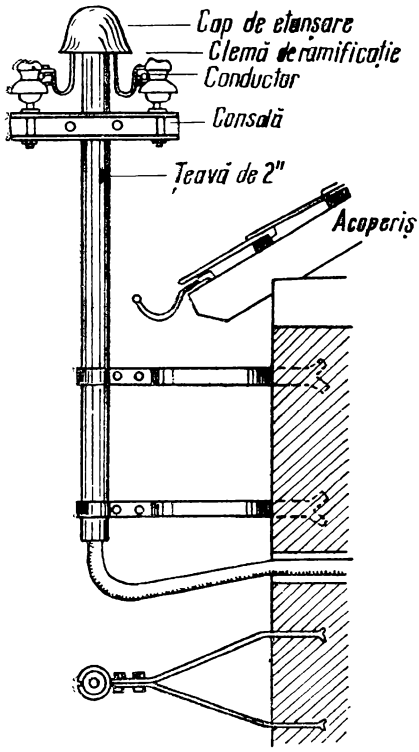


Fig. 4—13. Racord prin consolă fixată pe perete.

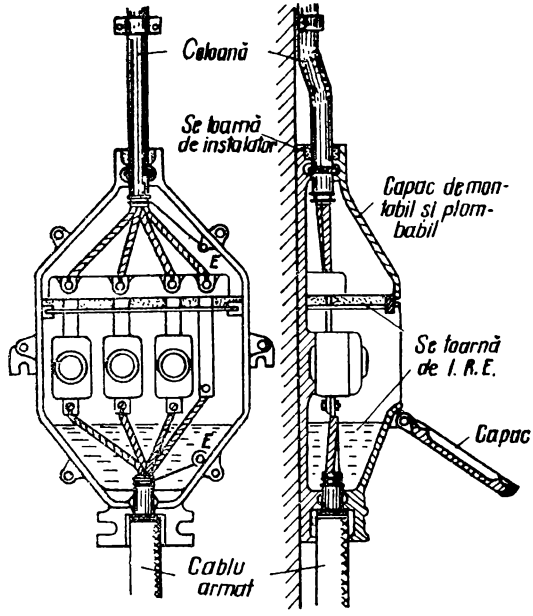


Fig. 4—14. Cofret de branșament subteran.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică conductoarele?
2. Cum sînt conductoarele învelite și unde se folosesc ele?
3. La care instalații interioare este permisă întrebuințarea aluminiului?
4. Ce este un conductor F 500?
5. Ce sînt conductele *INTENC*?
6. Ce tipuri de tuburi de protecție se folosesc în instalații electrice?
7. Care sînt principalele accesorii ale tuburilor de protecție?
8. Care sînt părțile componente ale unei siguranțe fuzibile cu filet?
9. În ce cazuri se folosesc tablourile capsulate?
10. Ce este un branșament și din ce este format?

Capitolul V

PROIECTAREA ȘI EXECUȚIA INSTALAȚIILOR ELECTRICE INTERIOARE

PLANUL ȘI SCHEMA ELECTRICĂ A UNEI INSTALAȚII INTERIOARE DE LUMINĂ ȘI FORȚĂ

Pentru executarea unei instalații electrice interioare este necesar să se întocmească în prealabil un proiect, care să cuprindă planurile, devizele, precum și toate elementele tehnice pentru execuție.

În cazul instalațiilor mici, cum ar fi instalațiile la locuințe sau mici ateliere, este suficientă o documentație mai redusă. Această documentație trebuie depusă la Întreprinderea regională de electricitate (IRE), pentru a fi verificată și aprobată.

Conform prevederilor art. 140 din „Regulamentul pentru utilizarea energiei electrice", aprobat prin HCM 316/1956, documentația (dosarul) trebuie să cuprindă planul general al clădirii pe etaje (fig. 5—1), indicația poziției tablourilor electrice, puterea și numărul lămpilor, motoarelor sau aparatelor electrice care sînt prevăzute a se instala în clădirea respectivă. Parterul clădirii, reprezentat în plan, ca exemplu, cuprinde o locuință și un mic atelier. De la cofret, unde sosește branșamentul, pleacă două coloane : una către locuință, din care se face o derivație către etajul clădirii, și una către atelier. În locuință se instalează un tablou cu trei plecări, dintre care două sînt pentru lămpi și una pentru prize, iar în atelier se instalează două tablouri separate : unul pentru iluminat *TL* și unul pentru forță *TF*. Tabloul pentru iluminat are două circuite (unul pentru lămpi și celălalt pentru prize), iar tabloul pentru forță are de asemenea două circuite (unul pentru un motor de 4 kW și al doilea pentru prize).

Planurile și proiectele pentru instalații electrice interioare trebuie să corespundă standardelor și prescripțiilor în vigoare. „Normativul privind instalațiile electrice de utilizare pînă la 1 000 V la construcții civile și industriale" cuprinde indicații amănunțite de proiectare și executare a acestor instalații. Respectarea acestui normativ este obligatorie.

Instalațiile interioare nu pot fi proiectate și executate decît de electricieni instalatori autorizați, care au dat un examen special, prin care s-a constatat că și-au însușit prevederile „Normativului" și ale "Regulamentului de,

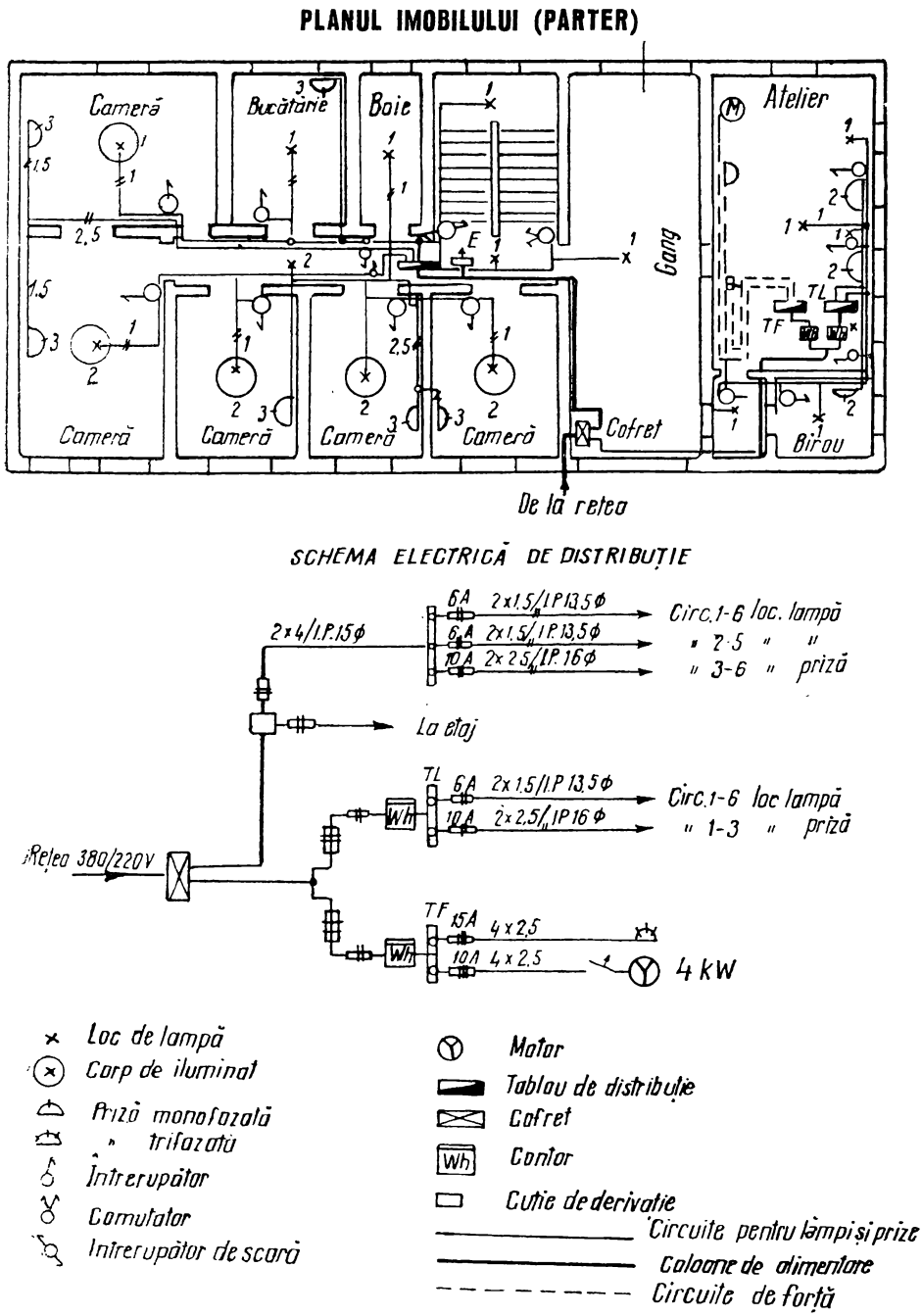


Fig. 5—1. Planul și schema electrică pentru o instalație de lumină și forță.

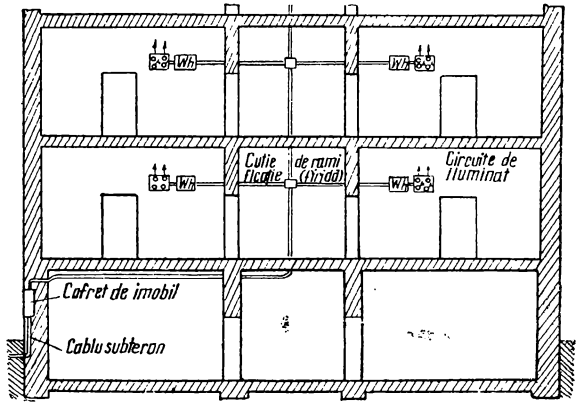


Fig. 5—2. Alimentare cu coloană comună.

utilizare", precum şi regulile tehnice de executare a instalaţiilor interioare, examen în urma căruia au primit o „autorizaţie eliberată de IRE".

O dată cu planul instalaţiei interioare se depune la IRE şi cererea pentru executarea branşamentului. În urma acestei cereri branşamentul se execută de către organele IRE. Avînd în vedere că branşamentul reprezintă legătura la reţeaua în funcţiune, el nu poate fi executat de altă întreprindere sau de către abonat.

Partea următoare a instalaţiei o constituie coloana. Coloana cuprinde conductoarele de la intrarea în clădire pînă la tablou sau contor. Conductoarele coloanelor se montează în tuburi de protecţie tip P, sau dacă trec printr-un mediu umed sau acid, în tuburi de protecţie etanşe, tip IPE. Coloanele se montează aparent, pentru a fi supravegheate uşor.

Dacă într-un imobil mai mare sînt mai multe apartamente, acestea se pot alimenta în două moduri : fie cu o singură coloană care pleacă de la cofret şi are derivaţii către fiecare apartament (fig. 5—2), fie instalîndu-se în apropierea cofretului un tablou, de la care se ramifică mai multe coloane separate pentru fiecare apartament (fig. 5—3). Alimentarea cu coloană comună este mai ieftină, însă prezintă mai puţină siguranţă în exploatare faţă de alimentarea cu coloane separate.

Cutiile de ramificaţie se construiesc din tablă şi conţin siguranţe pentru fiecare plecare.

Din punctul de vedere al prescripţiilor în vigoare, încăperile se împart în următoarele categorii : .

— încăperi uscate ;

— încăperi conţinînd praf, în care praful se depune pe conducte sau aparate în cantităţi mari ;

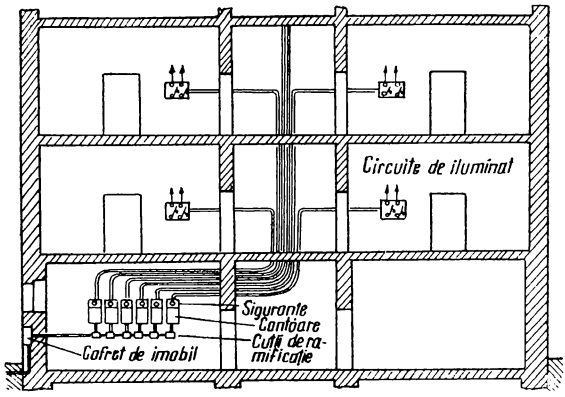


Fig. 5—3. Alimentare cu coloane separate.

— încăperi umede, unde există permanent sau foarte des vapori de apă ;

— încăperi în care se degajă vapori corosivi, care atacă metalele și materialele electrice ;

— încăperi cu pericol de incendiu, în care se fabrică sau se păstrează materiale sau substanțe combustibile ;

— încăperi cu pericol de explozie, în care se degajă gaze, vapori sau praf, care împreună cu aerul fac un amestec exploziv.

La proiectarea și execuția unei instalații trebuie să se țină seamă de tipul de încăpere în care se încadrează, luînd măsurile care se impun pentru fiecare caz în parte. Uneori încăperea se încadrează în mai multe din tipurile enumerate mai înainte.

De asemenea, se face o clasificare a încăperilor după destinația lor, astfel : locuințe, clădiri administrative sau publice, clădiri industriale, teatre, cinematografe, săli cu destinație specială.

În încăperile uscate se pot folosi instalații aparente sau îngropate în tuburi izolante ușor protejate tip IP, sau instalații aparente în tuburi de protecție tip P dacă există pericol de lovire. Conductoarele cele mai obișnuite sînt de tipul F 500 și AF 500, iar aparatele sînt normale.

În încăperile care conțin praf se utilizează conductoare montate în tuburi de protecție etanșe tip IPE sau cabluri cu manta de plumb. Întrerupătoarele și siguranțele trebuie să fie de construcție specială (etanșe la praf) sau să se instaleze în cutii etanșe. Corpurile de iluminat și motoarele trebuie să fie de construcție etanșă.

În încăperile umede se utilizează aparate și materiale care rezistă la umezeală. Conductoarele se montează în tuburi de protecție etanșe tip IPE sau în țevi de oțel trase ; se pot utiliza și cablurile cu manta de plumb. Întrerupătoarele și siguranțele se instalează în afara încăperilor ; în interior

se pot instala prize cu tensiunea de cel mult 12 V. Corpurile de iluminat, ca şi motoarele şi alte aparate care se montează în încăperile umede, trebuie să fie de construcţie impermeabilă.

În încăperile în care se degajă vapori corosivi se execută instalaţii cu conductoare în tuburi IPE sau ţevi de oţel protejate prin vopsire cu lac contra acizilor, ori se utilizează cabluri cu manta de plumb ca înveliş de protecţie contra mediului acid. Toate părţile instalaţiei (tuburi, armături, corpuri de iluminat etc.) se protejează prin vopsire, iar siguranţele şi întrerupătoarele se montează pe cît posibil în afara încăperilor.

În încăperile cu pericol de incendiu se pot utiliza tuburi IP, în afară de încăperile industriale, unde se utilizează tuburi IPE, ţevi de oţel sau cabluri cu manta de plumb.

În încăperile cu pericol de explozie se ţine seama de gradul de pericol şi de natura elementului care poate provoca explozia. În oricare din cazuri, conductoarele trebuie protejate în tuburi de protecţie etanşe IPE sau în cabluri cu manta de plumb. Motoarele şi aparatele electrice trebuie să fie de construcţie specială, antiexplozivă.

La instalaţiile din teatre, cinematografe şi săli de utilitate publică trebuie să se ia măsuri speciale. Astfel, în afară de iluminatul normal trebuie prevăzut un iluminat de siguranţă, care intră în funcţiune în mod automat în cazul cînd se întrerupe instalaţia de iluminat normal. La instalaţia de pe scenă, ca şi la cea din cabinele de proiecţie de la cinematografe, se iau măsuri de execuţie, considerîndu-le încăperi cu pericol de incendiu.

Întrebări recapitulative

1. Care este documentaţia tehnică care stă la baza executării unei instalaţii?
2. Cum se alimentează cu energie electrică un imobil cu mai multe apartamente?
3. Ce condiţii trebuie să îndeplinească un electrician instalator autorizat?
4. Cum se clasifică încăperile din punctul de vedere al instalaţiilor electrice interioare?

EXECUŢIA, EXPLOATAREA ŞI ÎNTREŢINEREA INSTALAŢIILOR ELECTRICE INTERIOARE

1. Execuţia instalaţiilor interioare

a. **Lucrări pregătitoare şi de organizare a şantierului.** Executarea instalaţiilor interioare se face pe baza unui proiect întocmit în conformitate cu normativul arătat mai înainte şi cu standardele în vigoare. De asemenea,

materialele folosite trebuie să corespundă cu standardele de stat sau, acolo unde acestea nu există, cu normele interne ale fabricilor furnizoare.

Înainte de începerea lucrărilor trebuie luate toate măsurile de organizare, pentru ca munca pe șantier să decurgă în cele mai bune condiții.

În primul rînd trebuie să se studieze documentația lucrării, să se organizeze sosirea tuturor materialelor și să se întocmească planul de execuție de șantier al lucrării. În acest plan se stabilesc : ordinea operațiilor, metodele de execuție, numărul de muncitori necesari și graficul de execuție cu termene precise.

Pentru creșterea productivității muncii, echipele de muncitori trebuie dotate cu scule și echipament potrivite. Astfel, sînt necesare o serie de scule de uz individual, și anume ciocane, dălți, șurubelnițe, pile, clești patent, metri, bricege etc., și scule de uz general (pe echipe), cum sînt menghine, burghie, filiere, clești pentru îndoit tuburi IP, dispozitive pentru îndoit țevi și tuburi de oțel, ciocane de lipit, aparate de măsurat electrice etc. De o mare importanță în obținerea unei producții mărite sînt sculele și dispozitivele perfecționate și de mică mecanizare : pistoale cu aer comprimat pentru introducerea în zid a pieselor de fixare a tuburilor și conductoarelor, perforatoare pneumatice, dălți electrice etc. De asemenea, nu se pot începe lucrările fără a avea asigurate dispozitivele și sculele pentru protecția muncii, printre care : centuri de siguranță, ochelari de protecție, mănuși de cauciuc etc.

Înainte de începerea montajului este necesar să se identifice traseele conductoarelor, alegîndu-se cele mai scurte, evitîndu-se spargerea grinzilor, a stîlpilor de beton și a pieselor prefabricate din beton. Cînd se execută lucrări care nu concordă cu proiectul se cere avizul proiectantului.

b. **Lucrări de zidărie.** Pentru coloanele electrice și pentru tuburile de protecție trebuie să se prevadă de la început șanțuri și găuri în pereți, astfel ca să se evite spărturile ulterioare. Pentru aceasta, proiectanții de instalații electrice, de comun acord cu proiectanții părții de construcție, vor prevedea din timp în planurile de construcție aceste șanțuri și găuri.

După fixarea tuburilor de protecție, a dozelor și a curbelor respective se verifică dacă prin ele pot fi trase conductoarele și numai după aceea se astupă tuburile cu un strat de tencuială de circa 1 cm, urmînd ca abia după uscarea tencuielii să se tragă conductoarele.

De asemenea, în timpul construcției se lasă goluri pentru dozele și nișele tablourilor.

c. **Montarea tuburilor.** Tuburile izolante uşor protejate (IP) se pot mont în două moduri : aparent şi îngropate sub tencuială, în încăperi usca

Cînd tuburile se montează aparent se fixează de perete cu scoabe fix pe dibluri de lemn. La instalaţii mai mari, unde sînt necesare mai m tuburi paralele, ele se fixează cu brăţări de metal (fig. 5—4).

Cînd tuburile se montează îngropate se fixează cu ochiuri de sîrmă ş prin cuie în zidărie.

Îndoirea tuburilor se face cu un cleşte special. Curbele se execut încît raza lor interioară să fie de minimum 5 ori diametrul exteri bului la instalaţii aparente şi de minimum 10 ori la cele îngropate.

La montarea tuburilor de protecţie tip P şi IPE se respestă reguli privind traseul coloanelor care nu se montează îngropat, aparent. Îmbinarea tuburilor se face numai cu piese prefabricate, iar îndoirea cu dispozitive speciale.

Dacă se utilizează ţevi de oţel, îndoirea se face la cald (ţevile fiind umplute cu nisip). Îmbinarea se face prin fitinguri sau sudare.

d. **Montarea conductoarelor.** Conductoarele nu se introduc în tuburi mai înainte ca tencuiala să fie perfect uscată.

Introducerea conductoarelor de cupru în tuburi se face prin tragere cu o panglică de oţel sau cu o sîrmă ondulată. Introducerea conductoarelor de aluminiu se face prin împingere, datorită faptului că acestea au o rezistenţă mecanică scăzută.

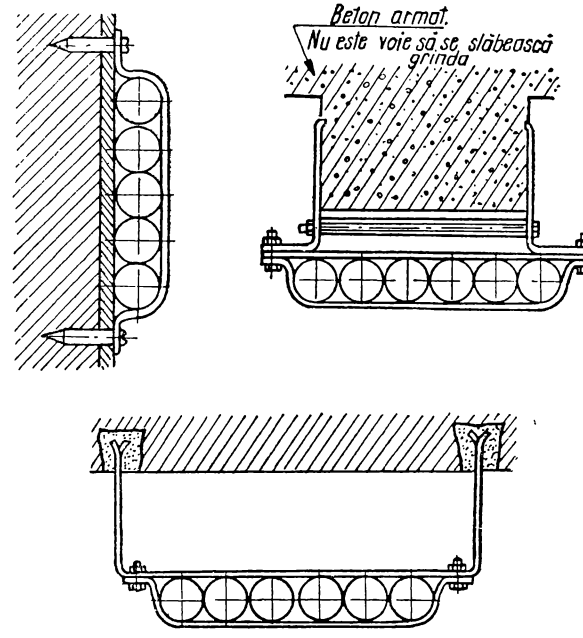


Fig. 5—4. Fixarea tuburilor IP cu brăţări.

Înnădirea conductoarelor și ramificațiile se fac numai în doze. Este interzisă înnădirea sîrmelor prin răsucire în interiorul tuburilor.

Legarea conductoarelor de cupru se face prin lipire cu cositor sau prin cleme speciale.

Deoarece în contact cu aerul aluminiul se acoperă cu un strat subțire de oxid, este necesar ca locurile de îmbinare să fie bine curățate. Îmbinarea conductoarelor de aluminiu se face prin : sudare, turnare sau prin cleme. Locurile de lipitură trebuie izolate cu lac, vopsea sau bandă izolantă, pentru a fi ferite de acțiunea umezelii.

Legarea conductoarelor de cupru cu cele de aluminiu se face cu cleme speciale (CUPAL).

e. **Instalarea aparatelor și tablourilor.** Întrerupătoarele și comutatoarele se montează aparent sau îngropat la înălțime de 1,5 m de la pardoseală, în așa fel încît să fie cît mai accesibile la intrarea în cameră. În locurile umede (băi, grajduri etc.) nu se montează întrerupătoare și comutatoare (acestea se montează în afara lor).

Prizele se montează la o înălțime față de pardoseală de 0,4 m în locuințe și birouri și de 1,2 m în instalații industriale.

În încăperile umede se folosesc prize impermeabile, așezate sub tencuială, sau prize capsulate din bachelită. În locurile care vin în contact cu atmosfera exterioară se folosesc prize capsulate de fontă.

Tablourile de distribuție se fixează pe pereți, în nișe sau pe stelaje speciale, în locuri ferite de lovituri. Ele trebuie să fie ușor accesibile. Latura superioară a tabloului se așază la o înălțime de maximum 2,20 m față de pardoseală.

2. Exploatarea și întreținerea instalațiilor interioare

La darea în exploatare a unei instalații este necesar să se facă o serie de verificări și probe.

În primul rînd, instalația se verifică dacă a fost executată în conformitate cu proiectul și cu prevederile „Normativului". Înainte de punerea în funcțiune se măsoară rezistența de izolație a conductoarelor față de pămînt și a conductoarelor între ele. Rezistența de izolație se măsoară cu aparate speciale numite megohmmetre și trebuie să nu fie mai mică de : $R = 1\,000\,U$ (U fiind tensiunea de serviciu, în volți, a instalației). De asemenea se măsoară rezistențele legăturilor la pămînt.

Ulterior, din timp în timp este necesar să se facă verificări ale instalaţiei. Verificările trebuie să fie cu atît mai dese, cu cît instalaţiile sînt mai importante; intervalul de timp dintre două verificări succesive variază între şase luni şi zece ani. După verificări trebuie să se remedieze deficienţele semnalate.

În afară de aceste verificări, care se fac de către IRE, personalul de exploatare trebuie să controleze instalaţia în mod continuu şi să remedieze toate deficienţele apărute.

Pentru protejarea personalului, toate părţile metalice ale instalaţiilor, carcasele aparatelor şi ale maşinilor electrice, care în mod normal nu sînt sub tensiune, dar în mod accidental (la defectarea izolaţiei) ar putea fi puse sub tensiune, se leagă la pămînt sau la neutrul instalaţiei (dacă acesta este legat la pămînt).

Legătura la pămînt de protecţie trebuie să nu aibă o rezistenţă de trecere mai mare de 4 Ω.

Întrebări recapitulative

1. Cum se montează tuburile IP?
2. Cum se montează conductoarele în tuburi?
3. Ce verificări se fac la punerea în funcţiune a unei instalaţii?

Capitolul VI

MONTAREA ŞI EXPLOATAREA MOTOARELOR ELECTRICE

TIPURI DE MOTOARE ELECTRICE ŞI UTILIZAREA LOR

Motoarele electrice sînt maşini care transformă energia electrică în energie mecanică.

Motoarele electrice au în prezent o largă întrebuinţare în diferite domenii de activitate : în industrie, în agricultură, în utilizări casnice etc.

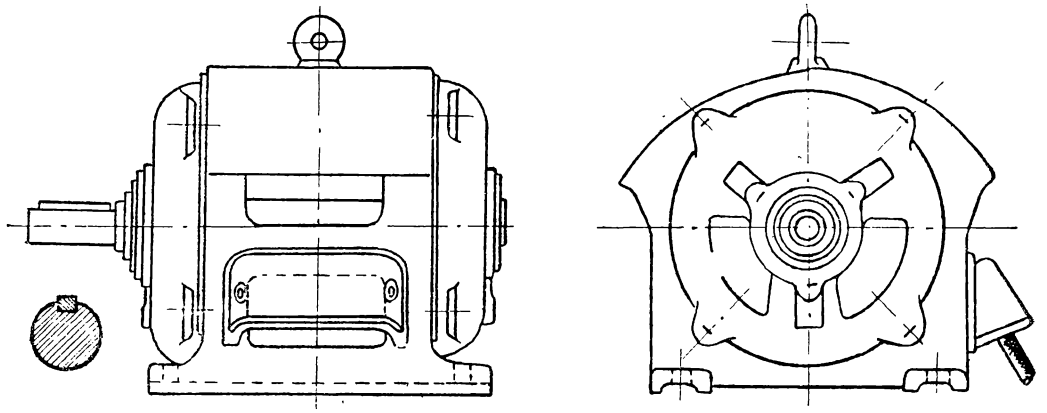


Fig. 6—1. Motor asincron trifazat de uz general.

În practică se utilizează diferite tipuri de motoare, atît de curent continuu, cît și de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu sînt mai puțin utilizate decît cele de curent alternativ. În prezent se folosesc motoare de curent continuu la tracțiune electrică (tramvaie, troleibuze și locomotive electrice) și în industrie în anumite cazuri (unde se cere un reglaj fin al turației).

Cea mai largă întrebuințare o au în prezent motoarele de curent alternativ și în special motoarele asincrone trifazate, care sînt simple, robuste și ușor de manevrat. Motoarele asincrone se construiesc atît cu rotorul bobinat, cît și cu rotorul în scurtcircuit (colivie simplă sau dublă).

Conform STAS 881—60 și STAS 6587—62, tensiunile nominale ale motoarelor asincrone fabricate în țara noastră sînt : 220, 380, 500, 3 000 și 6 000. V. Puterile nominale sînt cuprinse între 0,6 și 1 000 kW.

În figura 6—1 este reprezentat un motor asincron trifazat de uz general, iar în figura 6—2 un motor asincron trifazat capsulat.

La alegerea unui tip de motor trebuie să se țină seama de mediul în care va funcționa motorul, de tensiunea de alimentare, de turație, precum și de puterea necesară. Un motor de putere prea mică nu va reuși să antreneze corespunzător utilajul acționat, iar un motor de putere prea mare va fi utilizat necorespunzător, lucrînd cu randament și factor de putere reduse. La alegerea puterii motorului electric trebuie să se țină seama că regimul de funcționare pentru care a fost construit motorul să corespundă cu regi-

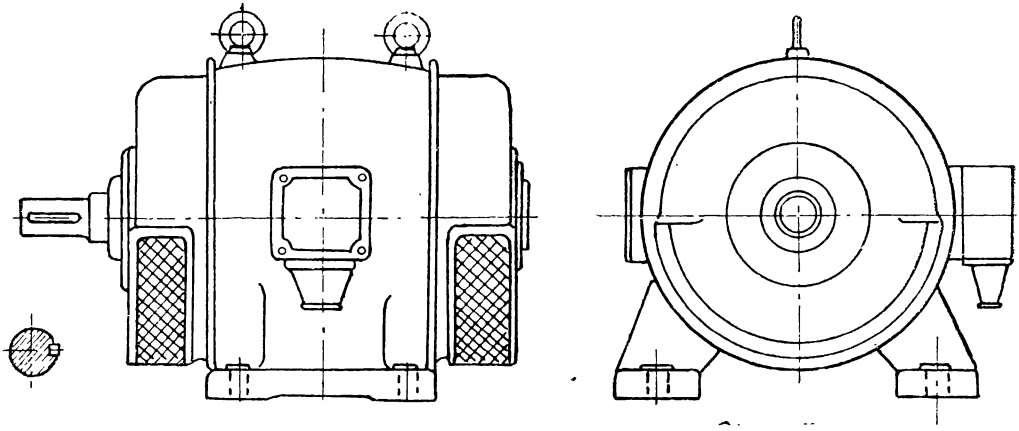


Fig. 6—2. Motor asincron trifazat, în construcţie capsulată.

mul de funcţionare efectivă. Se numeşte regim nominal de funcţionare a unui motor electric regimul pentru care motorul a fost proiectat şi construit.

Pentru motoarele electrice sînt stabilite trei regimuri de funcţionare, şi anume : de durată, de scurtă durată şi intermitent.

În regimul de durată, părţile componente ale motorului ajung la temperaturi stabile. În acest regim motorul poate funcţiona timp nelimitat, fără să depăşească temperaturile admise.

În regimul de scurtă durată, perioada de lucru (activă) este scurtă, astfel încît nu se ajunge la temperaturi stabile, iar perioada de pauză este suficient de mare pentru ca motorul să revină la temperatura mediului ambiant. În regimul de scurtă durată, motorul poate funcţiona în bune condiţii numai timpul pentru care a fost construit (indicat pe plăcuţă) ; dacă se depăşeşte acest timp motorul se încălzeşte peste limitele admise. Sînt stabilite următoarele perioade active ale regimului de scurtă durată : 15, 30 şi 60 min.

În regimul intermitent, perioadele active, în timpul cărora motorul nu ajunge la temperaturi stabile, alternează cu perioadele de pauză, în timpul cărora motorul nu ajunge la temperatura mediului ambiant. Regimul intermitent se caracterizează printr-un raport între durata perioadei active şi durata totală a unui ciclu, care poate fi 15, 25 sau 40%. În regimul intermitent motorul poate funcţiona nelimitat dacă se respectă raportul pentru care a fost construit.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică motoarele electrice în funcție de curentul folosit?
2. De cîte feluri sînt motoarele de curent alternativ?
3. Ce trebuie avut în vedere cînd se alege un motor electric?
4. Care sînt regimurile de funcționare a motoarelor electrice?

PORNIREA ȘI REGLAREA MOTOARELOR ELECTRICE

Este cunoscut faptul că motoarele absorb la pornire un curent mult mai mare decît cel nominal. Pentru a reduce acest curent este necesar să se utilizeze diferite metode, depinzînd de tipul, construcția și puterea motorului folosit.

Conform „Normativului privind instalațiile electrice de utilizare pînă la 1 000 V la construcțiile civile și industriale", pot fi pornite direct, fără dispozitive speciale, fiind racordate la rețeaua publică, motoarele electrice trifazate cu puteri pînă la 2,8 kW la tensiunea de 220 V și pînă la 4,5 kW la tensiunea de 380 V.

Pentru puteri mai mari trebuie utilizate dispozitive de reducere a curentului de pornire.

Astfel, la motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit se folosesc comutatoare stea-triunghi și autotransformatoare de pornire.

Comutatorul stea-triunghi micșorează tensiunea de alimentare a statorului la pornire, legînd fazele în stea, iar după ce rotorul a ajuns la turația nominală se trece la conexiunea în triunghi.

Schema unui astfel de comutator este reprezentată în figura 6—3. Motorul are fazele construite pentru tensiunea de linie U_1 (tensiunea între faze). La pornire, prin comutatorul stea-triunghi C, făcînd conexiunea în stea, fazele sînt supuse unei tensiuni de $\sqrt{3}$ ori mai mică, micșorînd în aceeași proporție și curentul de pornire. Dacă se ține seama că la conexiunea în stea curentul de linie este același cu curentul de pe o fază a motorului, iar la conexiunea în triunghi curentul de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît curentul pe fază, rezultă că, în realitate, la pornirea în stea curentul absorbit de la rețea este de trei ori mai mic decît în cazul pornirii în triunghi.

Comutatoarele stea-triunghi se construiesc sub formă de comutator rotativ (în aer) pentru motoarele de puteri mici și de tip controler (în ulei) pentru motoarele de puteri mijlocii și mari. În figura 6—4 este reprezentat un comutator rotativ în aer tip CST-25 pentru 25 A.

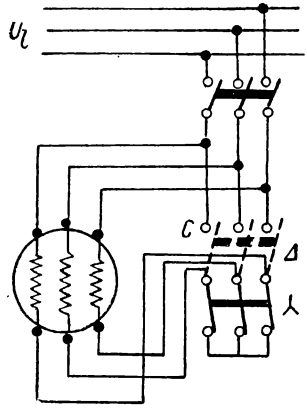


Fig. 6—3. Pornirea motoarelor asincrone cu comutator stea-triunghi.

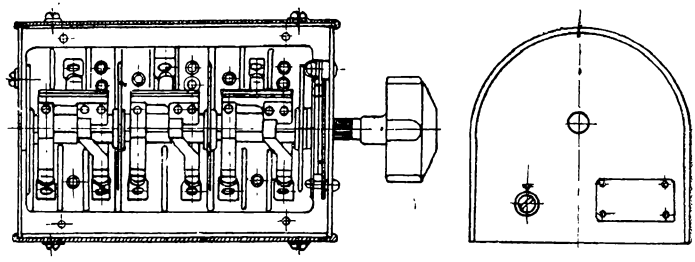


Fig. 6—4. Comutator stea-triunghi tip CST—25.

Orice comutator stea-triunghi are trei poziţii : zero 0, cînd motorul este deconectat de la reţea, stea Y şi triunghi Δ. Manevrarea comutatorului nu este posibilă decît în ordinea: zero — stea — triunghi — zero (0—Y—Δ—0).

Autotransformatorul de pornire se intercalează între statorul motorului şi reţea (fig. 6—5).

În momentul pornirii tensiunea aplicată statorului se reduce prin autotransformator. Se închid mai întîi întrerupătoarele K_1 şi K_2 şi motorul porneşte cu tensiunea redusă. Se deschide întrerupătorul K_2 şi apoi se închide K_3, alimentînd motorul la tensiunea nominală a reţelei.

Fig. 6—5. Pornirea motoarelor asincrone cu autotransformator.

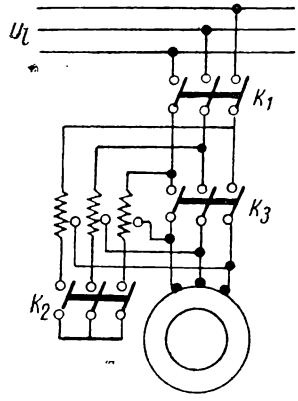
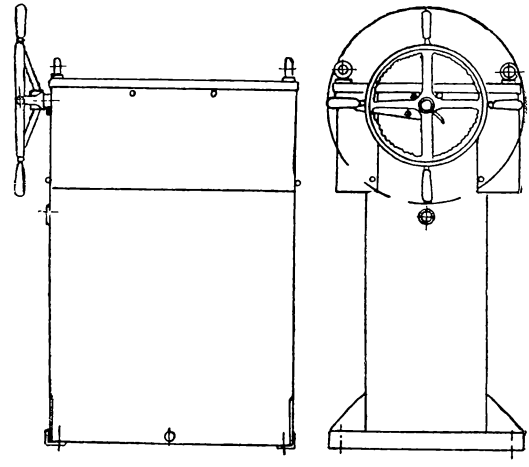


Fig. 6—6. Autotransformator de pornire tip Tp fabricat în Republica Socialistă România



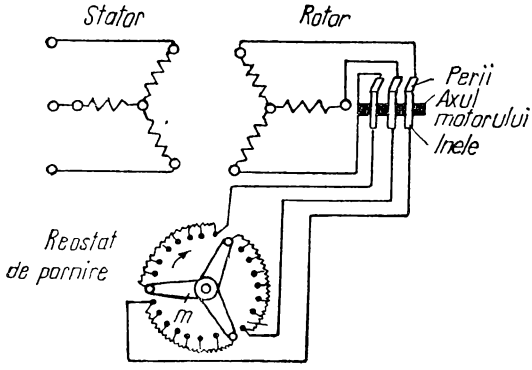


Fig. 6—7. Schema de principiu pentru legarea reostatului de pornire.

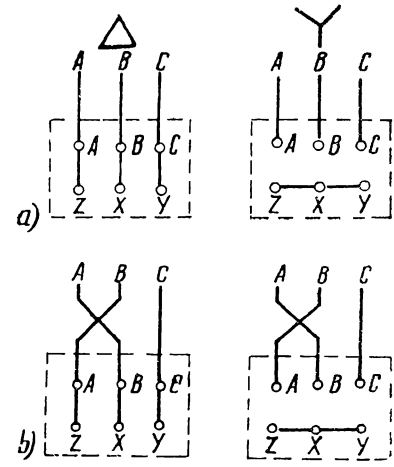


Fig. 6—8. Schema de legături la placa de borne.

În figura 6—6 este dată vederea unui autotransformator de pornire de tipul Tp fabricat în Republica Socialistă România, pentru motoare de 100—200 kW.

Observație. La pornirea motoarelor în scurtcircuit, prin reducerea tensiunii se reduce și cuplul de pornire, deci metoda nu se poate aplica acolo unde se cere un cuplu de pornire mare. În asemenea cazuri, în locul motoarelor asincrone în scurtcircuit se folosesc motoare asincrone cu rotorul bobinat.

Motoarele asincrone trifazate cu rotorul bobinat (cu inele) se pornesc cu ajutorul reostatelor de pornire, legate în circuitul rotoric al motorului ca în figura 6—7.

La pornire, întreaga rezistență a reostatului este introdusă în circuitul rotorului, micșorînd astfel curentul absorbit din rețea. Pe măsura demarării motorului se micșorează valoarea rezistenței, astfel încît după ce s-a ajuns la turația normală rezistența este scoasă complet din circuit.

Schimbarea sensului de rotație la motoarele asincrone se face ușor, prin inversarea legăturilor la două din bornele statorului. Aceasta se realizează la placa de borne, așa cum se vede în figura 6—8 (sensul inițial figura 6—8, *a* și sensul invers figura 6—8, *b*).

Reglarea turației la motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit se face greu. Motoarele asincrone au o turație practic constantă, ea variind în limite mici. În cazuri speciale se construiesc motoare asincrone cu număr variabil de poli (în care caz se obține o variație în trepte a turației) sau cu reglaj prin variația frecvenței.

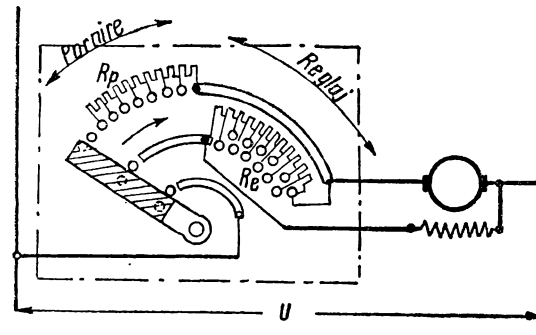


Fig. 6—9. Reostat de pornire şi reglare a turaţiei pentru un motor de curent continuu cu excitaţie în derivaţie.

Acolo unde este necesar un reglaj uşor al turaţiei se utilizează motoare de curent alternativ cu colector sau motoare de curent continuu.

În figura 6—9 este prezentată schema unui reostat de pornire şi de reglare a turaţiei pentru un motor de curent continuu, cu excitaţia în derivaţie.

Rezistenţa R_p este legată în serie cu indusul motorului iar rezistenţa R_e în serie cu excitaţia. La pornire, rezistenţa R_p este complet în circuit şi se scoate treptat pe măsura demarării motorului, manevrînd reostatul în sensul săgeţii. În continuare se introduce treptat în circuitul de excitaţie rezistenţa R_e, micşorînd curentul de excitaţie şi mărind astfel turaţia motorului.

Întrebări recapitulative

1. Cum se pornesc motoarele asincrone?
2. Cum funcţionează un comutator stea-triunghi?
3. Cum funcţionează un autotransformator?
4. Ce este un reostat de pornire?
5. Cum se face schimbarea sensului de rotaţie la motoarele electrice asincrone?
6. Cum se face reglarea turaţiei la motoarele electrice de curent contiuu?

Partea a doua

LINII ELECTRICE AERIENE

Capitolul VII

ELEMENTELE LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Elementele principale ale liniilor aeriene sînt : conductoarele, izolatoarele şi stîlpii. Conductoarele servesc la trecerea curentului electric. Ele sînt susţinute de stîlpi şi sînt fixate şi izolate de aceştia prin izolatoare.

CONDUCTOARELE LINIILOR AERIENE

Pentru liniile electrice aeriene se folosesc conductoare metalice neizolate (fără nici un înveliş izolant).

Conductorul este supus atît efectelor curentului electric, cît şi acţiunii unor forţe exterioare ; ca urmare, el trebuie să aibă atît calităţi electrice, cît şi mecanice şi economice, şi anume :

— să aibă rezistivitate mică (conductivitate mare), astfel încît pierderile de energie să fie cît mai mici (se ştie că pierderile sînt direct proporţionale cu rezistenţa electrică) ;

— să aibă rezistenţă mecanică mare, pentru a suporta fără pericol de rupere toate forţele care acţionează asupra lui ;

— să aibă preţ de cost cît mai redus.

1. Forma conductoarelor

Conductoarele neizolate pentru linii aeriene pot fi de două tipuri : conductoare monofilare (sîrme sau conductoare masive) şi conductoare multifilare (funii sau cabluri).

Conductoarele monofilare se construiesc dintr-un singur fir de secțiune circulară. Ele se fabrică de secțiuni mici (6—16 mm²) și se folosesc destul de rar, numai la rețelele de joasă tensiune. Pentru secțiuni mai mari se folosesc numai conductoare multifilare. De altfel, pentru secțiuni mari conductoarele masive nici n-ar putea fi montate, din cauza lipsei lor de flexibilitate.

Conductoarele multifilare (funie) sînt constituite din mai multe fire, în general de același diametru, dispuse în straturi concentrice (fig. 7—1). În centrul conductorului există un fir, iar peste acest fir se împletește un strat de alte 6 fire. Stratul următor cuprinde 12 fire și așa mai departe, fiecare strat avînd (cu 6) fire mai mult decît cel precedent. Înfășurarea straturilor succesive se face în sensuri diferite. În acest mod se construiesc conductoare funie cu 7 fire, cu 19 fire, cu 37 de fire etc.

Conductoarele funie au următoarele avantaje față de cele masive :

— sînt mai flexibile, putînd fi montate mai ușor ;

— se răcesc mai bine, deoarece la aceeași secțiune au suprafață mai mare în contact cu aerul ;

— prezintă o siguranță mai mare din punct de vedere mecanic, deoarece ruperea unor fire nu compromite starea întregului conductor.

Secțiunile normalizate ale conductoarelor electrice sînt : 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400 mm².

În afară de conductoare masive și conductoare funie, se mai construiesc conductoare tubulare, însă acestea nu se folosesc decît la tensiuni foarte înalte, pentru micșorarea pierderilor prin efluvii (efect Corona). Ele au, totodată, avantajul unei mai bune răciri. Pînă în prezent, la noi în țară nu s-au folosit conductoare tubulare.

2. Materialul conductoarelor

Caracteristicile principale ale conductoarelor electrice sînt : rezistivitatea, greutatea specifică, rezistența de rupere la tracțiune, coeficientul de dilatare termică și coeficientul de elasticitate.

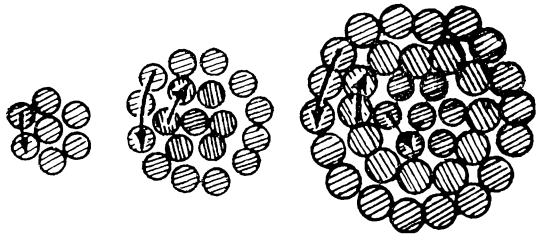


Fig. 7—1. Conductoare multifilare (funie).

Rezistivitatea ρ este rezistența unui conductor cu secțiunea de 1 mm² și lungimea de 1 m; se exprimă în Ω mm²/m. Împărțind-o la secțiunea S a conductorului și înmulțind-o cu coeficientul 1 000 (trecerea de la m la km) se obține rezistența electrică a acestuia în Ω/ km, adică: $R = \frac{1\,000}{S}\rho$ [Ω/km]. Inversul rezistivității $\nu = \frac{1}{\rho}$ se numește conductivitate și se exprimă în m/Ω mm².

Greutatea specifică γ este greutatea în grame forță a unui centimetru cub din metalul respectiv și se exprimă în gf/cm³ sau, pentru conductoare circulare, în kgf/ m · mm². Greutatea specifică exprimată astfel, înmulțită cu secțiunea în mm² și cu coeficientul 1 000, dă greutatea conductorului în kgf/km.

Rezistența de rupere la tracțiune σ_{rt} este cea mai mare forță de tracțiune, în kgf, la care un conductor cu secțiunea de 1 mm² rezistă înainte de a se rupe. Ținîndu-se seamă de rezistența de rupere la tracțiune, se deduce rezistența admisibilă a conductorului.

Coeficientul de dilatare termică α este un coeficient care arată cu cît se lungește fiecare metru din conductor, dacă temperatura crește cu 1 °C.

Coeficientul (modulul) de elasticitate E arată cu cît se alungește un fir cu lungimea de 1 m și secțiunea de 1 mm², cînd asupra lui acționează o forță de 1 kgf.

În practică se folosesc conductoare de cupru, de aluminiu, de oțel, de oțel-aluminiu și de aliaje de cupru și aluminiu.

În tabela 7—1 sînt date caracteristicile principale ale materialelor întrebuințate la fabricarea conductoarelor electrice.

a. **Conductoare de cupru.** Cuprul este, după argint, metalul cel mai bun conducător de electricitate; de aceea este mult întrebuințat pentru construirea rețelelor electrice. Fiind cel mai cunoscut conductor, întotdeauna caracteristicile celorlalte metale se compară cu caracteristicile cuprului.

Cuprul folosit la conductoarele electrice trebuie să fie pur; de aceea se întrebuințează numai cuprul obținut pe cale electrolitică, denumit cupru electrolitic.

Rezistența mecanică a conductoarelor de cupru depinde de modul de prelucrare a acestora. Prin laminare la rece sau trefilare se obține „cupru tare" cu rezistență mare la rupere. Conductoarele liniilor aeriene se confecționează din cupru tare.

Prin tratamente termice (recoacere și apoi călire), cuprul își micșorează rigiditatea și rezistența la rupere, devenind flexibil sau, cum se numește,

Tabela 7—1

Caracteristicile principale ale materialelor pentru conductoare electrice
(STAS R 1531—50)

Nr. crt.	Caracteristici	Simbolul	Unitatea de măsură	*Felul materialului*			
				Cupru tare	Aluminiu	Oţel 70	Oţel 120
1	Rezistivitatea la +20 °C	$\rho_{20°}$	$\frac{\Omega mm^2}{m}$	0,01786	0,0294	—	—
2	Conductivitatea la +20 °C	ν	$\frac{m}{\Omega mm^2}$	56	34	—	—
3	Coeficientul de temperatură al rezistenţei electrice	λ	$\frac{\Omega}{°C}$	$3{,}93 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$
4	Greutatea specifică	γ	$\frac{kgf}{m \cdot mm^2}$	$8{,}9 \cdot 10^{-3}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	$7{,}8 \cdot 10^{-3}$	$7{,}8 \cdot 10^{-3}$
5	Rezistenţa de rupere la tracţiune	σ_{rt}	$\frac{kgf}{mm^2}$	40	16	70	120
6	Coeficientul de dilatare termică	α	$\frac{1}{°C}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$
7	Modulul de elasticitate	E	$\frac{kgf}{mm^2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$0{,}56 \cdot 10^{-4}$	$1{,}96 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
8	Temperatura de topire	t	°C	1 083	658	—	—

„cupru moale". Astfel se face sîrma pentru bobinaj și pentru cabluri electrice izolate. Conductoarele de cupru rezistă bine la acțiunea agenților atmosferici; ele se acoperă la suprafață cu un strat subțire de oxid care le protejează.

Caracteristicile conductoarelor de cupru sînt stabilite prin STAS 687—56.

b. **Conductoare de aluminiu.** Următorul metal bun conducător de electricitate, după cupru, este aluminiul, ale cărui calități electrice sînt apropiate de cele ale cuprului.

Aluminiul folosit pentru conductoare are o puritate de circa 99,5%.

Pentru ca două conductoare, unul din cupru și celălalt din aluminiu să conducă curentul electric la fel de bine, conductorul de aluminiu trebuie să aibă secțiunea de 1,65 ori mai mare decît cel de cupru.

Greutatea specifică a aluminiului este de 30,4% din cea a cuprului; rezultă că greutatea unui conductor de aluminiu este aproximativ jumătate din cea a unui conductor de cupru cu aceeași rezistență electrică, astfel încît, din acest punct de vedere, folosirea aluminiului este avantajoasă.

Din punctul de vedere al rezistenței mecanice, aluminiul este inferior cuprului. Pentru linii aeriene se folosește aluminiul „tras" (tare). Pentru cabluri și conductoare electrice izolate se folosește sîrma de aluminiu „moale", cu rezistența de rupere la tracțiune de 8 kgf/mm^2.

Deoarece rezistența mecanică a aluminiului este mică, întinderea conductoarelor trebuie făcută cu eforturi mai mici.

La întinderea conductoarelor de aluminiu trebuie să se ia măsuri de precauție mai accentuate decît la cupru, pentru a nu se produce deteriorarea suprafeței exterioare a conductorului; în caz contrar, rezistența sa mecanică se reduce simțitor. În nici un caz nu este permisă frecarea conductoarelor de pietre sau de suporții metalici ai izolatoarelor.

Aluminiul reacționează chimic cu substanțele bazice și cu compușii clorului. Suprafața conductoarelor poate fi deci atacată, producîndu-se coroziuni. De aceea, trebuie să se evite utilizarea conductoarelor de aluminiu în apropierea fabricilor de produse chimice, a minelor, a turnătoriilor etc. Gazele conținînd sulf sînt, de asemenea, dăunătoare aluminiului, deci există pericol de coroziune și în apropierea gărilor mari.

Ca și cuprul, aluminiul se acoperă cu un strat subțire de oxid, care reprezintă o anumită protecție împotriva coroziunii. Caracteristicile conductoarelor de aluminiu sînt stabilite prin STAS 3032—52.

Pentru îmbunătățirea calităților mecanice ale aluminiului (rezistența de rupere a aluminiului este de 2,5 ori mai mică decît a cuprului) se folosesc diferite aliaje, cum sînt: aldrey, almelec etc.

Aldrey-ul este un aliaj care, în afară de aluminiu, mai conține : 0,3—0,5% magneziu, 0,3—0,7% siliciu și 0,3% fier. Firele de aldrey prezintă o rezistență mecanică mult mai mare decît cele de aluminiu și anume de circa 30 kgf/mm², iar conductivitatea lor este numai cu 12% mai mică.

c. **Conductoare de oțel-aluminiu.** Conductoarele de oțel-aluminiu au atît rezistență mecanică mare, cît și o conductivitate satisfăcătoare. Ele sînt formate dintr-o inimă de oțel zincat, care suportă o mare parte din rezistența mecanică și un înveliș de aluminiu, care servește drept conductor electric.

Sîrmele de aluminiu acoperă inima de oțel într-unul sau mai multe straturi.

Datorită proprietăților lor mecanice superioare, conductoarele de oțel-aluminiu sînt foarte mult utilizate în special la liniile de transport de 35, 110, 220 și 400 kV, linii care sînt executate cu deschideri mari între stîlpi.

Conductoarele de oțel-aluminiu rezistă la agenții atmosferici și chimici, în aceeași măsură în care rezistă oțelul și aluminiul, fiecare separat.

d. **Conductoare de oțel.** Conductoarele de oțel nu se folosesc decît în cazul în care sarcina electrică este mică, deoarece ele au o rezistivitate mare (0,12—0,2 Ω mm²/m).

În schimb, conductoarele de oțel au o rezistență mecanică mare. Se folosesc conductoarele de oțel cu rezistența de rupere la tracțiune de 40, 70, 120 și 140 kgf/mm².

Datorită rezistenței mecanice mari, conductoarele de oțel pot fi întinse mai tare decît celelalte conductoare, deci stîlpii respectivi pot fi mai scurți, în același timp însă, stîlpii trebuie să fie mai robuști, deoarece tracțiunea produsă de conductoare este mai mare.

Deoarece oțelul se oxidează în contact cu umezeala din aer, conductoarele de oțel sînt acoperite cu un strat de zinc.

Conductoarele de oțel rezistă foarte bine la variațiile de temperatură, menținîndu-și rezistența mecanică pînă la temperatura de 100 °C.

După cum s-a arătat, principalul dezavantaj al conductoarelor de oțel constă din rezistivitatea lor mare.

Ele se folosesc în special în electrificările rurale, unde puterea transportată nefiind mare, costul lor este avantajos față de cel al conductoarelor de cupru sau de aluminiu.

Conductoarele de oțel se mai folosesc la liniile de lungime mică prin care se transportă puteri reduse și, în anumite cazuri, pentru traversările

cu deschideri mari, unde se cere o rezistență mecanică a conductoarelor deosebit de mare.

La construcția liniilor aeriene conductoarele de oțel se folosesc drept conductoare de protecție (fire de gardă), pentru a proteja linia contra supratensiunilor atmosferice.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele elemente care alcătuiesc liniile electrice?
2. Ce condiții trebuie să îndeplinească conductoarele liniilor electrice aeriene?
3. De cîte feluri sînt conductoarele folosite la liniile electrice aeriene în ceea ce privește construcția lor?
4. Ce metale și aliaje se folosesc pentru confecționarea conductoarelor liniilor electrice aeriene?

IZOLATOARELE LINIILOR

1. Proprietățile izolatoarelor

Izolatoarele utilizate în construcția liniilor aeriene de joasă sau de înaltă tensiune au rolul de a izola conductoarele, care se află sub tensiune, atît între ele cît și față de pămînt (sau față de părțile stîlpilor care sînt în legătură cu pămîntul).

Izolatoarele trebuie să îndeplinească două feluri de condiții : electrice și mecanice.

a. **Condiții electrice.** Un izolator aflat atît în condiții normale de funcționare, cît și în condiții nefavorabile, impuse de starea atmosferică, nu trebuie să permită producerea unei descărcări electrice de la conductorul aflat sub tensiune la alt conductor sau la pămînt. De asemenea, el nu trebuie să permită scurgeri de curent pe suprafața sa.

Față de tensiunea de serviciu a izolatorului se deosebesc două tensiuni caracteristice care determină calitatea lui : tensiunea de conturnare și tensiunea de străpungere.

Tensiunea de conturnare este acea tensiune (mai mare decît tensiunea de serviciu a izolatorului) la care se produc descărcări electrice, prin aerul înconjurător, între conductor și suportul izolatorului de-a lungul suprafeței acestuia. Descărcările sînt vizibile și se datoresc ionizării aerului care în-

conjură izolatorul sub acțiunea diferenței de potențial care există între conductor și suport. Ionizarea aerului se explică prin învingerea rezistenței opuse de coloana de aer dintre conductor și suport, descărcarea electrică făcîndu-se de la conductorul aflat sub tensiune la suportul metalic, sub forma unui arc electric. Cînd s-a produs arcul electric de-a lungul suprafeței izolatorului se spune că izolatorul a fost conturnat.

Pentru a mări valoarea tensiunii de conturnare, mai ales atunci cînd suprafața izolatorului este umedă și murdară, la toate tipurile de izolatoare suprafața se face ondulată.

Tensiunea de străpungere este acea tensiune (mai mare decît tensiunea de conturnare) la care descărcarea electrică se produce de la conductor la suportul metalic, prin corpul izolatorului, și are ca urmare deteriorarea și scoaterea izolatorului din serviciu.

Fiecare tip și mărime de izolator are o tensiune de conturnare și una de străpungere proprii, în raport cu grosimea, forma și calitatea materialului izolant. Ambele tensiuni își micșorează valoarea pe timp umed (ceață, ploaie etc.).

Efectele de conturnare sau de străpungere apar la liniile electrice aeriene, în cazul cînd tensiunea crește peste limitele prescrise de norme, în special în timpul descărcărilor atmosferice.

După calitățile lor electrice izolatoarele pentru linii aeriene se împart în :

— izolatoare de joasă tensiune, pentru tensiuni de serviciu pînă la 1 000 V ;

— izolatoare de înaltă tensiune, pentru tensiuni de serviciu peste 1 000 V.

b. **Condiții mecanice.** În condițiile normale de funcționare, ca și în condițiile excepționale impuse de stările atmosferice (vînt, chiciură, variații de temperatură etc.), izolatoarele trebuie să aibă rezistență mecanică suficientă, pentru a rezista la eforturile produse de conductoare.

După felul solicitărilor mecanice și după rezistența lor, se deosebesc :

— izolatoare de susținere, care preiau numai greutatea conductoarelor inclusiv a chiciurii depuse pe ele și eforturile provocate de vînt ;

— izolatoare de tracțiune, care pe lîngă eforturile enumerate anterior preiau și eforturile de tracțiune din conductoare.

Rezistența mecanică a unui izolator este caracterizată prin sarcina sa de rupere.

Un izolator bun trebuie să îndeplinească și o altă serie de condiții :

— să fie nehigroscopic și cît mai puțin sensibil la variațiile de temperatură ;

— să nu fie influențat de agenții atmosferici sau de agenții chimici ;

— să se conserve cît mai bine şi un timp cît mai îndelungat;
— să fie uşor de montat şi transportat;
— să fie cît mai ieftin.

c. **Materialul izolatoarelor.** În urma cercetărilor făcute şi a rezultatelor practice obţinute, s-a constatat că două dintre materialele cunoscute îndeplinesc condiţiile electrice şi mecanice arătate mai sus, şi anume : porţelanul şi sticla.

Porţelanul îndeplineşte condiţiile într-o măsură mai mare şi este cel mai întrebuinţat în practică.

Porţelanul din care se fabrică izolatoare electrice este un amestec de argilă cu siliciu şi feldspat. Faţă de porţelanul întrebuinţat la fabricarea obiectelor de artă, porţelanul întrebuinţat la izolatoare conţine un procent mai mare de argilă, ceea ce îl face mai plastic şi mai rezistent la variaţii de temperatură. Glazura sau smalţul care acoperă izolatorul împiedică absorbirea umezelii şi depunerea apei şi, într-o oarecare măsură, a prafului şi a zgurei. Glazura rezistă foarte bine la acţiunea agenţilor chimici. Ea are aceeaşi rigiditate dielectrică şi acelaşi coeficient de dilatare ca şi porţelanul.

Sticla este mai ieftină decît porţelanul. Totuşi, calităţile sale sînt inferioare : are sensibilitate mai mare la variaţiile de temperatură, este mai fragilă şi mai puţin rezistentă.

Sticla se foloseşte mai mult pentru executarea izolatoarelor pentru liniile de telecomunicaţii (telefon, telegraf) şi uneori pentru liniile electrice de joasă şi înaltă tensiune.

2. Tipuri de izolatoare

După cum s-a văzut, izolatoarele se împart, din punct de vedere electric, în izolatoare de joasă şi de înaltă tensiune, iar din punct de vedere mecanic în izolatoare de susţinere şi izolatoare de tracţiune.

a. **Izolatoarele de joasă tensiune (pînă la 1 kV).** Pentru susţinere la joasă tensiune se folosesc izolatoare de tip N (fig. 7—2), conform STAS 665—49.

Pentru întindere la joasă tensiune se folosesc, după acelaşi STAS 665-49, două tipuri de izolatoare : tipul T pentru un conductor (fig. 7—3) şi tipul TD pentru două conductoare (fig. 7—4).

Fixarea acestor izolatoare pe stîlpi va fi arătată mai departe, cînd se vor descrie suporţii şi armăturile pentru izolatoare.

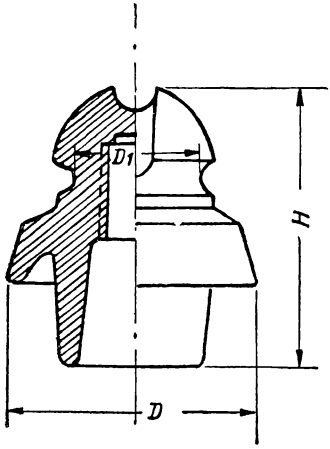


Fig. 7—2. Izolator de susținere tip N pentru joasă tensiune.

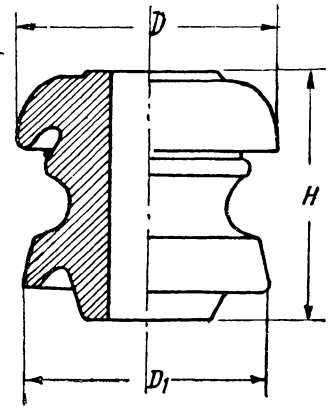


Fig. 7—3. Izolator de tracțiune tip T pentru joasă tensiune.

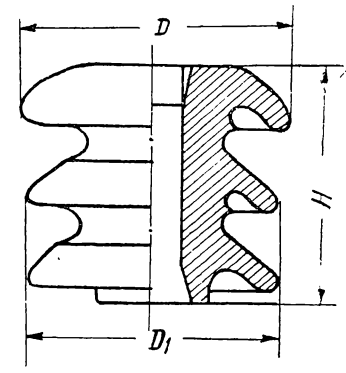


Fig. 7—4. Izolator de tracțiune tip TD pentru joasă tensiune.

La legăturile aeriene de la abonați, unde de la izolator conductorul pleacă atît vertical pe stîlp, cît și orizontal spre abonat, se folosesc izolatoare de susținere speciale, numite izolatoare cu braț (fig. 7—5).

b. **Izolatoare de înaltă tensiune (peste 1 kV).** Pentru înaltă tensiune se folosesc două tipuri de izolatoare : rigide (suport) și de suspensie.

Izolatoarele rigide (fig. 7—6) se construiesc pentru tensiuni de la 6 la 35 kV. Ele sînt de două tipuri : Δ (delta) și ΔR (delta întărit) și se construiesc conform STAS 2513—56.

La tensiuni înalte (de 35 sau peste 35 kV) se folosesc izolatoare de suspensie. Acestea sînt formate din mai multe elemente articulate între ele, alcătuind astfel un lanț care se fixează și el tot articulat de consola stîlpului. Izolatorul poate astfel să oscileze sub acțiunea vîntului sau cînd se rupe un conductor, astfel încît micșorează eforturile mecanice care acționează asupra stîlpilor.

Există izolatoare de suspensie cu un taler și cu mai multe talere (tip motor). Izolatoarele cu un taler sînt cele mai răspîndite (fig. 7—7). Ele se compun dintr-un taler de porțelan care prezintă o cocoașă, pe care se aplică o calotă metalică numită capă. Fixarea acesteia pe cocoașă se face cu ciment sau cu plumb. Capa este prevăzută la partea superioară cu un locaș servind la îmbinarea cu elementul superior. În interiorul cocoașei se află o tijă metalică terminată la partea de jos cu o sferă turtită. Aceasta este fixată de izolatorul propriu-zis cu ajutorul unui inel metalic prins cu ciment sau cu plumb.

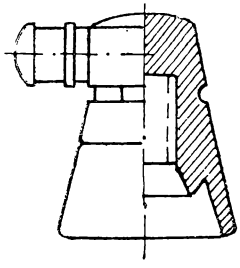


Fig. 7—5. Izolator cu braţ.

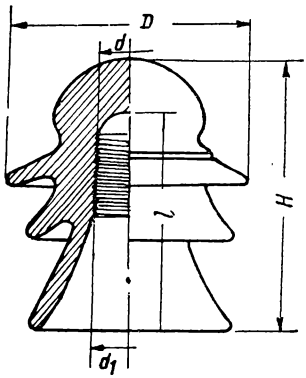


Fig. 7—6. Izolator rigid pentru înaltă tensiune.

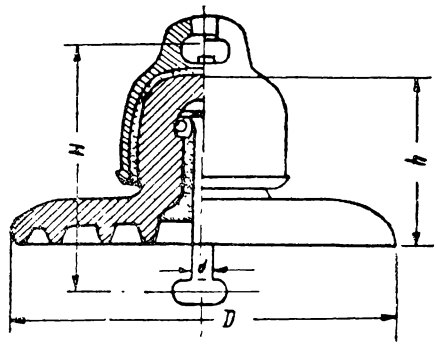


Fig. 7—7. Element de izolator de suspensie pentru înaltă tensiune

Tija serveşte pentru îmbinarea cu elementul următor.

Acest gen de izolator se fabrică la noi în ţară conform STAS 3565—59. Tipurile cele mai obişnuite sînt IC 4 (sarcina de rupere 4 tone) şi IC 6 (sarcina de rupere 6 tone).

Izolatoarele de suspensie se montează formînd lanţuri de mai multe elemente. Numărul de elemente este impus de tensiunea liniei : cu cît tensiunea este mai mare, cu atît numărul de elemente în lanţ este mai mare. Astfel, pentru 35 kV se folosesc 2—4 elemente, pentru 110 kV se folosesc 6—8 elemente etc.

Întrebări recapitulative

1. Ce rol au izolatoarele liniilor electrice aeriene ?
2. Ce condiţii electrice trebuie să îndeplinească izolatoarele ?
3. Cum se confecţionează izolatoarele pentru a avea o tensiune de conturnare cît mai mare ?
4. Ce condiţii mecanice trebuie să îndeplinească izolatoarele ?
5. Cum se clasifică izolatoarele de înaltă tensiune faţă de rolul pe care-l îndeplinesc?

STÎLPII LINIILOR. TIPURI DE STÎLPI

Stîlpii (suporţii liniilor aeriene) au rolul de a susţine conductoarele şi restul echipamentului liniei. Ei depind, ca dimensiuni şi construcţie, de destinaţia şi materialul lor, de tensiunea de serviciu a liniei, de numărul şi de felul conductoarelor etc.

După destinație, stîlpii se împart în următoarele categorii : de susținere, de întindere, de colț, terminali și speciali.

Stîlpii de susținere (numiți și stîlpi intermediari) servesc numai pentru susținerea conductoarelor, fiind dimensionați să reziste numai la sarcinile din regim normal de funcționare, adică la : greutatea conductoarelor, a chiciurei, precum și la presiunea vîntului, care se presupune orizontală și perpendiculară pe direcția liniei.

Stîlpii de susținere se montează numai pe o porțiune dreaptă a liniei, de aceea se mai numesc și stîlpi de aliniament. Ei sînt cei mai numeroși stîlpi de pe linie.

Stîlpii de întindere preiau, în afară de eforturile obișnuite într-un stîlp de susținere, și eforturile de tracțiune din conductoare ivite în caz de avarie, precum și forța orizontală dată de întinderea conductoarelor. Ei se folosesc tot în aliniament, din distanță în distanță și servesc pentru a crea pe linie puncte întărite. Acești stîlpi sînt mai robuști decît stîlpii de susținere și sînt repartizați la distanțe de 6—12 deschideri. Ei limitează accidentele grave, care ar putea avea loc pe porțiunea cuprinsă între doi stîlpi de întindere consecutivi. De aceea, stîlpii de întindere se mai numesc și stîlpi de întărire.

Întinderea conductoarelor se face pe panouri cuprinse între doi stîlpi de întindere consecutivi.

Stîlpii de colț se montează în punctele de întretăiere a două aliniamente (în punctele de colț). Ei preiau eforturile rezultate din tracțiunea conductoarelor.

Stîlpii terminali (de capăt) se montează la începutul și la sfîrșitul liniei. Ei sînt asemănători celor de întindere, însă mai rezistenți.

Stîlpii speciali se folosesc la traversarea căilor ferate, la treceri peste rîuri, în punctele unde sînt necesare deschideri mari între stîlpi etc.

După materialul lor, stîlpii pot fi : de lemn, metalici, sau de beton armat.

Stîlpii de lemn se întîlnesc în special la liniile mai vechi de joasă tensiune pentru electrificări rurale și uneori și la liniile de înaltă tensiune.

În prezent, lemnul nu-și mai justifică din punct de vedere economic folosirea la confecționarea stîlpilor și de aceea în țara noastră, și în general în construcțiile moderne de linii aeriene, stîlpii de lemn sînt înlocuiți cu stîlpi de beton armat.

Stîlpii metalici cei mai răspîndiți sînt de tipul *cu zăbrele*. Ei se folosesc în special la liniile de înaltă tensiune, la linii importante.

În rețelele de distribuție de joasă tensiune din orașe se folosesc stîlpi tubulari, care au aspect estetic și durată de serviciu mai lungă decît stîlpii de lemn.

Stîlpii de beton armat se folosesc din ce în ce mai mult, datorită faptului că au durata de serviciu foarte mare, o întreținere ușoară și aspect estetic. Se pot folosi atît la liniile de înaltă tensiune cît și la cele de joasă tensiune.

Alegerea materialului pentru construirea stîlpilor se face după lungimea și importanța liniei, după caracteristicile ei și după condițiile de climă (vînt, temperatură, chiciură etc.).

În calculele de alegerea materialului stîlpilor trebuie să se țină seama și de cheltuielile de întreținere, care sînt mari pentru stîlpii de lemn, mai mici pentru stîlpii metalici și aproape inexistente pentru stîlpii de beton armat.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică stîlpii după funcțiile lor?
2. De cîte feluri sînt stîlpii după materialul din care sînt confecționați?
3. Ce criterii trebuie avute în vedere la alegerea stîlpilor unei linii?

STÎLPII DE LEMN

Stîlpii de lemn au marele avantaj că sînt ușor de executat și manipulat. Ei se plantează cu ușurință în pămînt. Lemnul fiind un material elastic, stîlpii de lemn mai au avantajul că se pot încovoia fără să se rupă, chiar atunci cînd sînt supuși la eforturi mecanice foarte mari.

Din punct de vedere electric, lemnul este un material izolant. În consecință, utilizarea lui mărește izolația liniei și micșorează solicitarea electrică a izolatoarelor.

Ca dezavantaj trebuie menționată în primul rînd durata de serviciu scurtă a stîlpilor de lemn, care sînt supuși putrezirii. Acest dezavantaj este compensat parțial prin diferite metode de conservare a lemnului. Totuși, durata de serviciu a stîlpilor de lemn rămîne mai scurtă decît a celor metalici sau de beton armat.

Un alt dezavantaj al stîlpilor de lemn constă în faptul că, avînd o lungime limitată, trebuie montați la distanțe mici unul de altul. Rezultă deci un număr mai mare de stîlpi și deci și de izolatoare, ceea ce, pe de o parte mărește prețul de cost al liniei, iar pe de altă parte numărul mare de stîlpi înseamnă creșterea probabilităților de defecte (străpungeri ale izolatoarelor, conturnări etc.).

Cei mai utilizați stîlpi de lemn sînt cei de conifere : brad, molid și pin. La noi în țară se întîlnesc în special stîlpi de molid.

Stîlpii de lemn pot fi simpli sau compuși (formați din mai multe elemente îmbinate între ele).

a. **Stîlpii simpli.** Se folosesc numai ca stîlpi de susținere, cu lungimi de 8—14 m. Dimensiunile lor sînt date în STAS 257—57.

Pentru ca să permită scurgerea apei de ploaie, înainte de impregnare stîlpii se ascut astfel încît vîrful să capete o formă conică.

b. **Stîlpii compuși.** Stîlpii compuși se subîmpart astfel :

— *Stîlpi cu adaosuri.* În cazul cînd nu există stîlpi suficient de lungi, se folosesc stîlpi mai scurți, prevăzuți cu adaosuri (fig. 7—8).

Îmbinarea se face prin bandaje de sîrmă de oțel (matisare) sau prin buloane.

— *Stîlpi cu proptea.* La liniile de joasă tensiune, drept stîlpi de colț sau terminali se folosesc stîlpii cu proptea (fig. 7—9), care sînt formați dintr-un picior vertical (stîlpul propriu-zis) și un picior înclinat numit proptea.

Propteaua trebuie dispusă în direcția rezultantei forței care acționează asupra stîlpului. Astfel, la un stîlp de colț propteaua se așază pe bisectoarea unghiului format de conductoare, și anume în interiorul unghiului.

Față de felul cum este solicitată, propteaua are tendința de a se înfige în pămînt. Pentru a se mări rezistența solului, propteaua se montează pe o talpă formată dintr-un buștean de lemn.

— *Stîlpi cu ancoră.* În locul stîlpului cu proptea se poate folosi un stîlp cu ancoră, care este un stîlp simplu, fixat de sol printr-un cablu de oțel bine întins (fig. 7—10). Cablul neputînd să preia decît eforturi de tracțiune, el se montează pe partea opusă celei pe care s-ar monta propteaua. În general, stîlpii cu ancoră se folosesc acolo unde nu se pot folosi proptele, din lipsă de spațiu. Cablul ancorei trebuie prins de stîlp cît mai sus posibil, fără a intra însă în zona conductoarelor. Prinderea în pămînt, care se face tot cu un buștean, trebuie să fie cît mai departe de stîlp, pentru că în felul acesta efortul în cablu este mai mic.

— *Stîlpi A.* Stîlpii în formă de A sînt de două feluri :

— stîlpi tip AI (de întindere), la care cele două picioare au aceeași înclinare față de verticală ;

— stîlpi tip AC (de colț și capăt), la care un picior este vertical și unul înclinat.

Stîlpul tip AI (fig. 7—11) are în planul format de cele două picioare aceeași rezistență în ambele direcții. El se folosește atît ca stîlp de întindere, cît și ca stîlp de colț.

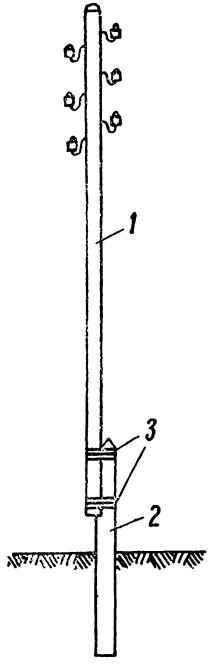


Fig. 7—8.

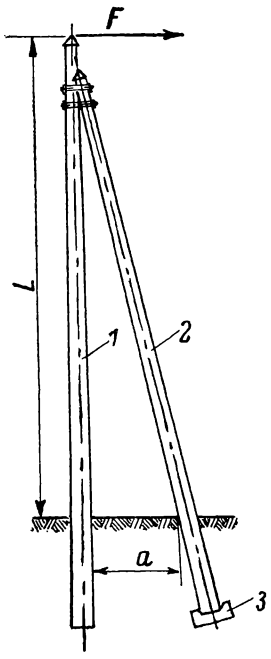


Fig. 7—9.

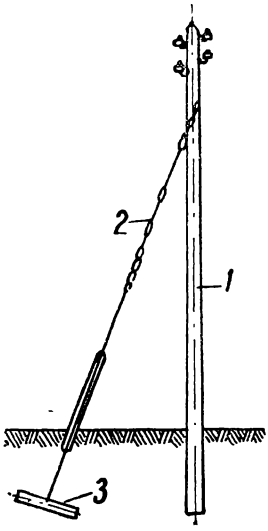


Fig. 7—10.

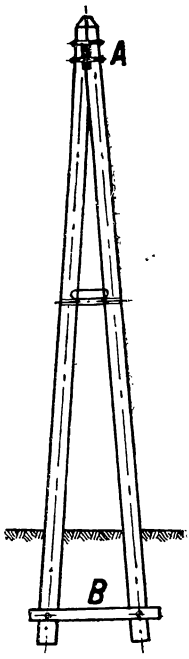


Fig. 7—11.

Fig. 7—12.

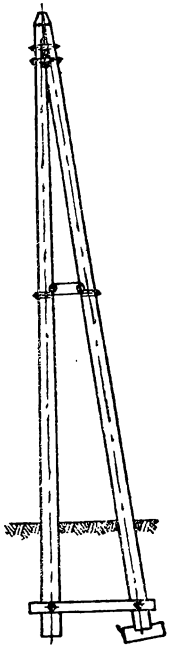


Fig. 7—13.

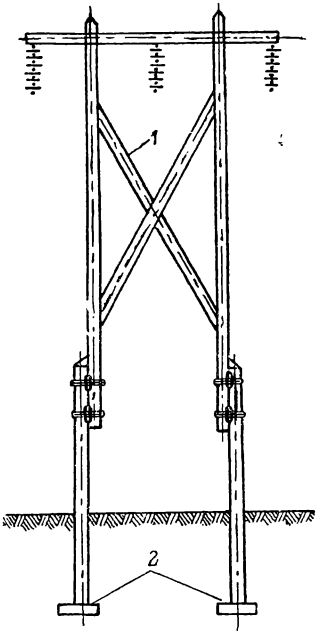


Fig. 7—8. Stîlp de lemn cu adaos :
1 — stîlpul propriu-zis; *2* — adaos; *3* — bandaje de sîrmă.

Fig. 7—9. Stîlp de lemn cu proptea :
1 — stîlpul propriu-zis; *2* — proptea; *3* — talpă (buștean de lemn); *L* — înălțimea stîlpului; *a* — deschiderea la bază; *F* — forța orizontală rezultantă.

Fig. 7—10. Stîlp de lemn cu ancoră :
1 — stîlp; *2* — ancoră (cablu de oțel); *3* — talpă.

Fig. 7—11. Stîlp AI de lemn.

Fig. 7—12. Stîlp AC de lemn.

Fig. 7—13. Stîlp portal de lemn de susținere întărit :
1 — diagonale; *2* — tălpi.

Îmbinarea dintre cele două picioare se face la vîrf (A) prin două buloane de oţel şi o pană de lemn de stejar, iar la bază B, în partea îngropată în pămînt, prin două traverse de brad sau stejar.

Stîlpul tip AC (fig. 7—12), spre deosebire de stîlpul AI, rezistă la eforturi orizontale într-o singură direcţie, şi anume la tracţiune îndreptată în direcţia piciorului înclinat.

Stîlpul tip AC se foloseşte ca stîlp de colţ sau stîlp de capăt.

Cînd nu se dispune de stîlpi de lemn de lungime suficientă, se pot confecţiona stîlpi AI sau AC cu picioare mai scurte, prevăzute cu unul sau două adaosuri fiecare.

— *Stîlpi portal.* Se folosesc de obicei la liniile de înaltă tensiune, începînd de la 35 kV. La aceşti stîlpi, conductoarele sînt fixate prin lanţuri de izolatoare de suspensie şi sînt dispuse toate la aceeaşi înălţime faţă de pămînt.

Cel mai simplu tip de stîlp de susţinere este alcătuit din două picioare de lemn, prelungite prin adaosuri şi unite printr-o traversă orizontală, de care se prind lanţurile de izolatoare. Traversa poate fi metalică sau de lemn.

Cînd este necesar un stîlp mai rezistent, se adoptă stîlpul portal de susţinere întărit (fig. 7—13). Întărirea se obţine prin două diagonale din lemn rotund sau semirotund, care fac ca rezistenţa pe direcţia perpendiculară pe linie să fie mărită.

La stîlpii portal de întindere, de colţ, terminali sau speciali, fiecare picior al stîlpului este un stîlp A. Îmbinarea între cei doi stîlpi A se face atît prin traversa care susţine lanţurile de izolatoare, cît şi prin traverse şi diagonale speciale.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt avantajele şi dezavantajele folosirii stîlpiior de lemn?
2. Cum se clasifică stîlpii de lemn după forma lor?
3. De cîte feluri sînt stîlpii de lemn după funcţia pe care-o îndeplinesc?

STÎLPII METALICI ŞI DE BETON ARMAT

1. Stîlpii metalici

Stîlpii metalici se folosesc în special la liniile de transport de înaltă tensiune, de 110—400 kV, foarte importante. Pentru tensiuni mai mici (6—35 kV), stîlpii metalici se folosesc mai rar şi, în general, în punctele dificile

sau speciale ale traseului (la traversări, pe terenurile fabricilor sau ale uzinelor etc.). La liniile de joasă tensiune stîlpii metalici se folosesc în cazuri rare, şi anume în oraşe, din motive estetice.

Faţă de stîlpii de lemn, stîlpii metalici au avantajul unei durate de serviciu mai mari. De aceea. deşi sînt mai costisitori decît stîlpii de lemn, stîlpii metalici se folosesc la linii importante.

Pe de altă parte, stîlpii metalici prezintă avantajul unor cheltuieli de întreţinere mai mici decît stîlpii de lemn.

În comparaţie cu stîlpii de beton, ei au o greutate mică şi deci cheltuieli mai mici de transport şi de montaj. Deoarece, în caz de nevoie, ei pot fi transportaţi la locul de instalare desfăcuţi în bucăţi, sînt avantajoşi chiar în teren greu accesibil.

Pentru înaltă tensiune se folosesc, în general, stîlpi metalici în formă de grinzi cu zăbrele. Izolatoarele sînt prinse de console, de asemenea metalice. Materialul folosit este oţelul profilat, de diferite dimensiuni. În figura 7—14 este reprezentat un astfel de stîlp, construit pentru două circuite trifazate şi un conductor de protecţie, care se montează în vîrful stîlpului pe o piesă numită vîrfar. Partea stîlpului care intră în pămînt se fixează într-o fundaţie de beton, care îi asigură stabilitatea şi, în acelaşi timp, protejează împotriva coroziunii această parte, care este cea mai expusă. Stîlpii metalici pot fi cu bază îngustă sau cu bază largă, în funcţie de raportul dintre distanţa între montanţi la baza stîlpului (picioarele verticale ale stîlpului) şi înălţimea stîlpului.

Se consideră stîlpi cu bază îngustă cei cu o valoare a raportului de 1/8—1/12.

La stîlpii cu bază îngustă, cum este cel din figura 7—14, în montanţi iau naştere eforturi mari, care necesită executarea stîlpilor dintr-un oţel cornier cu secţiune mare. De aceea, se folosesc uneori stîlpi metalici cu baza largă, la care fiecare montant are o fundaţie separată. În acest mod şi fundaţia stîlpului necesită material mai puţin. De asemenea, se folosesc stîlpi metalici la care toate conductoarele active sînt în acelaşi plan, cum sînt stîlpii portal sau cei tip Y (fig. 7—15).

Îmbinarea montanţilor se face de obicei prin suprapunerea capetelor lor pe o lungime oarecare şi fixarea lor cu şuruburi.

Diagonalele se fixează de montanţi prin sudare.

La joasă tensiune şi la instalaţiile de iluminat din oraşe se folosesc stîlpi tubulari din ţeavă de oţel.

Stîlpii metalici trebuie protejaţi împotriva coroziunii. Protecţia împotriva ruginirii se realizează, în general, prin vopsire. Pentru aceasta, se folo-

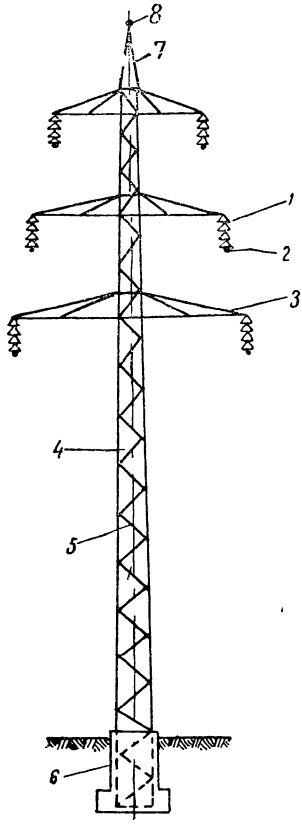


Fig. 7—14. Stîlp metalic cu zăbrele:
1 — izolator; *2* — conductor; *3* — consolă; *4* — montant; *5* — diagonală; *6* — fundație; *7* — vîrfar; *8* — conductor de protecție.

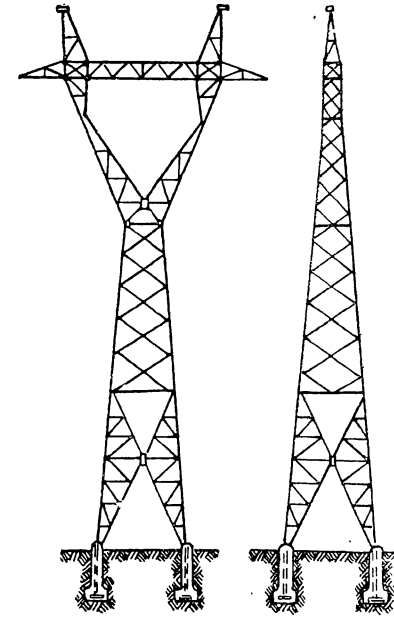


Fig. 7—15. Stîlp metalic tip Y.

sesc vopsele pe bază de ulei vegetal (ulei de in). Pentru a se menține vopseaua în stare bună, stîlpul trebuie revopsit la un interval de 5—7 ani.

Protecția împotriva ruginirii se mai poate face prin metalizare, care constă din acoperirea cu un strat subțire de metal inoxidabil, de obicei cu zinc.

Acest procedeu este foarte scump, în schimb asigură protejarea stîlpilor pe un timp foarte îndelungat (pînă la 50 de ani).

2. Stîlpii de beton armat

Betonul este un amestec de ciment, nisip, pietriș și apă. El are o rezistență mare la compresiune, însă rezistența la tracțiune este mult mai mică (circa a zecea parte din rezistența la compresiune). Din această cauză,

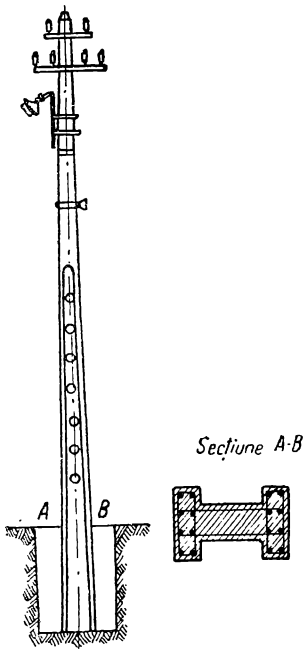


Fig. 7—16. Stîlp de beton armat vibrat echipat pentru joasă tensiune.

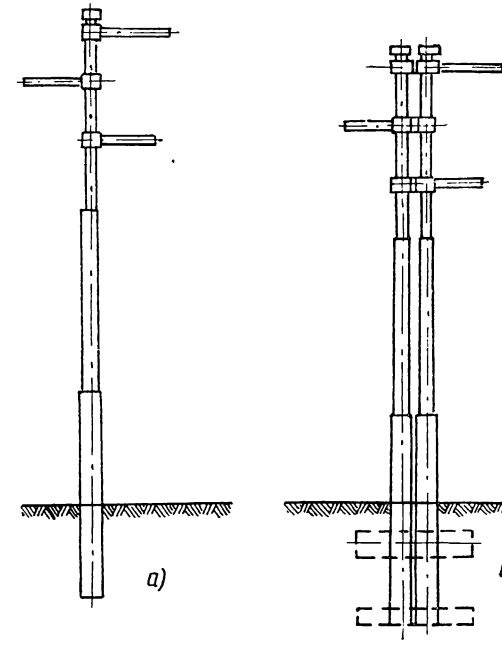


Fig. 7—17. Stîlpi de beton armat centrifugat :
a — de susținere ; *b* — de întindere.

acolo unde betonul preia și eforturi de tracțiune, el se armează cu bare și sîrme de oțel. Stîlpii de beton armat se confecționează prin trei metode principale : prin turnare simplă, prin vibrare și prin centrifugare.

Prin turnare simplă se realizează stîlpi de dimensiuni mici cu secțiune dreptunghiulară, avînd o serie de goluri pentru a micșora greutatea și pentru ușurarea urcării pe ei.

Stîlpii de beton armat vibrat au aceleași forme însă, în timpul execuției, cînd betonul este încă moale, formele în care se toarnă stîlpii (cofrajele) sînt supuse unor vibrații, care fac ca betonul să devină mai dens, deci mai rezistent. În figura 7—16 este reprezentat un stîlp de beton armat vibrat folosit la joasă tensiune.

Stîlpii de beton centrifugat au montantul în formă de trunchi de con, gol în interior. Lungimea acestor stîlpi atinge 20—30 m, iar grosimea peretelui 3—12 cm.

Stîlpii de beton armat centrifugat (fig. 7—17) se fabrică cu mașini speciale. Betonul se toarnă într-o formă cilindrică, căreia i se dă o mișcare

de rotație. Datorită forței centrifuge, betonul este aruncat spre pereții formei și presat, astfel încît devine foarte dens și deci rezistent. Traversele stîlpului se fabrică separat și la montare se fixează pe stîlpi.

În ultimii ani se construiesc stîlpi de beton armat vibrați și centrifugați, cu armătura din corzi de oțel pretensionate înainte de turnarea betonului. Se obțin astfel stîlpi mai ieftini și mai rezistenți.

Stîlpii de beton armat au o serie de avantaje importante. Astfel sînt foarte rezistenți la coroziune, necesitînd deci cheltuieli minime de întreținere. Durata de serviciu a stîlpilor de beton armat este foarte mare (30—50 de ani). Ei sînt rezistenți la foc, la agenții atmosferici și la insecte. În același timp au și o formă estetică.

Stîlpii de beton armat au dezavantajul că sînt mai greu de construit, necesitînd un utilaj special. De asemenea greutatea relativ mare și dificultățile de montaj fac ca utilizarea lor în teren accidentat să fie evitată.

Datorită atît calităților pe care le au, cît și faptului că materialul pentru construcția lor este mai ușor de procurat, la noi în țară folosirea stîlpilor de beton armat a luat în ultimul timp o dezvoltare din ce în ce mai mare. Se construiesc acum stîlpi de beton armat atît pentru joasă tensiune, cît și pentru înaltă tensiune.

Întrebări recapitulative

1. La care linii se folosesc stîlpii metalici?
2. Care sînt avantajele stîlpilor metalici?
3. Cum se protejează stîlpii metalici contra ruginirii?
4. Cum se pot clasifica stîlpii de beton după modul de construcție?
5. Care sînt avantajele stîlpilor de beton?

FUNDAȚIILE STÎLPILOR

Pentru a se asigura stabilitatea stîlpilor și pentru ca forțele care acționează asupra lor să nu-i răstoarne, stîlpii liniilor de transport de energie electrică sînt plantați în pămînt.

Forțele exterioare produc asupra stîlpului un moment de răsturnare. Acesta trebuie să fie compensat de un moment de stabilitate, care este dat de greutatea stîlpului și a fundației și de rezistența pe care o opune pămîntul.

Stîlpii de lemn se plantează de cele mai multe ori direct în pămînt. În acest caz, stabilitatea lor este asigurată numai de împingerea pămîntului. Adîncimea de îngropare este dată de formula (după STAS 688—54) :

$$h = 1{,}50 + \frac{L - 8}{10}, \qquad (7-1)$$

în care : h este adîncimea minimă de îngropare a stîlpului, în m ;
L — lungimea stîlpului, în m.

Astfel, un stîlp de 10 m va fi îngropat la o adîncime minimă de :

$$h = 1{,}50 + \frac{10 - 8}{10} = 1{,}70 \text{ m}.$$

Pentru ca stabilitatea stîlpului să fie mai bună este necesar, în special acolo unde rezistența solului este mai slabă ca la astuparea gropii să se aşeze straturi alternative de pămînt şi de piatră spartă (burare), ca în figura 7—18.

O fundație mai bună însă mai costisitoare se obține folosind la stîlpii de lemn socluri sau clești de beton armat (fig. 7—19). Aceştia se fixează de stîlp prin nişte fălci strînse cu buloane.

În mod similar, în terenuri nisipoase sau mlăştinoase se pot folosi pentru fixarea stîlpilor de lemn şine de cale ferată, care se bat în sol la 4—6 m adîncime.

Pentru stîlpii metalici se folosesc, de obicei fundații de beton. Prin aceasta se realizează o bună stabilitate a stîlpilor, datorită greutăți mari a fundației ; totodată, partea stîlpului din pămînt este ferită de umezeală, fiind încastrată în beton. La stîlpii metalici cu baza largă, fiecare montant are cîte o fundație separată. Fundațiile de beton pot fi construite fie bloc, fie în trepte (fig. 7—20). În toate cazurile, fundația trebuie să treacă cu 20—30 cm de suprafața solului, pentru ca apa de ploaie să nu se strîngă la baza stîlpului. Din același motiv partea de deasupra a fundației se execută în formă de piramidă. De asemenea, partea superioară a fundației trebuie sclivisită foarte neted cu un strat de ciment.

Fundațiile stîlpilor de beton armat se execută de asemenea, din beton. Ele au însă o formă circulară sau paralelipipedică şi uneori sînt îngropate în întregime în pămînt, pentru ca stîlpul să ocupe cît mai puțin loc.

Stîlpii de beton mai puțin solicitați se pot planta direct în pămînt. În acest caz, se obişnuieşte ca groapa să se umple cu straturi alternative de pămînt şi de piatră spartă (burare), pentru a se uşura scurgerea apei şi pentru a mări stabilitatea stîlpului la răsturnare.

Pentru uşurarea lucrărilor de montaj pe teren, în ultimul timp se folosesc fundații prefabricate. Acestea pot fi din beton armat sau din metal.

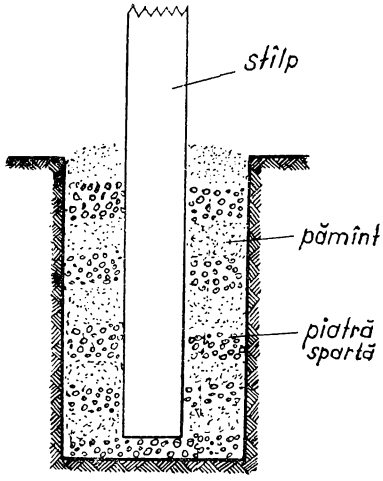


Fig. 7—18. Fundație burată.

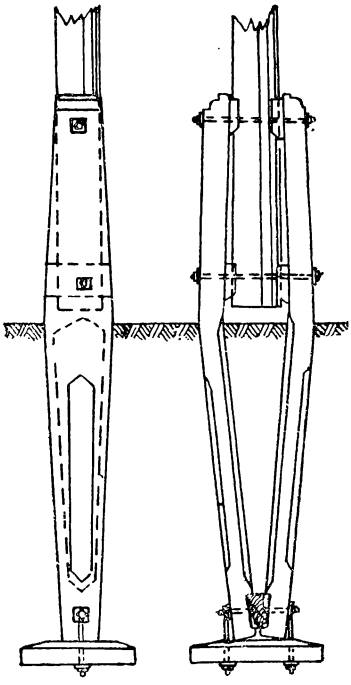


Fig. 7—19. Cleşte (soclu) de beton pentru stîlpi de lemn.

Fig. 7—22. Fundație pe piloți.

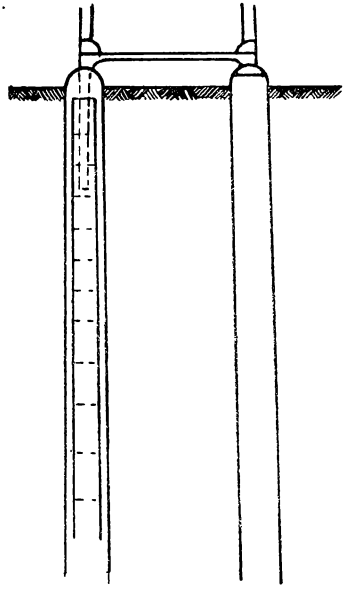


Fig. 7—21. Fundație prefabricată :
1 — placă de sprijin ; *2* — soclu de beton ; *3* — buton de strîngere ; *4* — bară pentru prinderea piciorului stîlpului.

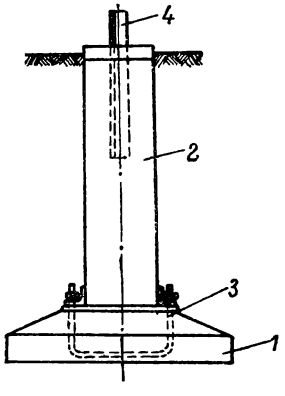
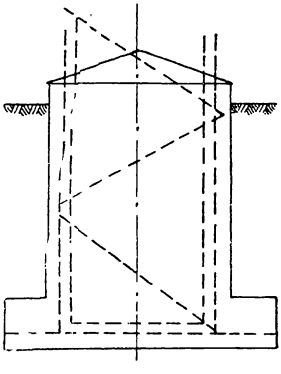


Fig. 7—20. Fundație de beton pentru stîlp metalic.



Cele mai răspîndite sînt din beton armat, care la rîndul lor pot fi dintr-o singură bucată, sau din mai multe bucăți prinse între ele prin buloane (fig. 7—21).

În terenuri slabe, mlăştinoase, se folosesc fundații pe piloți. Se pot folosi piloți de lemn, pe care apoi se amplasează fundația, sau piloți de beton armat. Piloții de beton armat pot fi prefabricați şi introduşi în sol prin batere sau pot fi fabricați la fața locului. În acest caz se forează cu o maşină specială un puț, care apoi se umple cu beton armat (fig. 7—22).

Întrebări recapitulative

1. Cum se plantează stîlpii de lemn?
2. Cum se măreşte stabilitatea stîlpilor?
3. Ce fel de fundații se folosesc la stîlpii metalici?
4. Ce sînt fundațiile prefabricate şi ce avantaje prezintă ele?

Capitolul VIII

ARMĂTURI PENTRU LINII AERIENE

Pentru prinderea izolatoarelor de stîlpi şi a conductoarelor active de izolatoare sau lanțuri de izolatoare, precum şi pentru înnădirea conductoarelor şi realizarea legăturilor electrice se folosesc o serie de dispozitive care formează împreună armăturile liniei.

Felul armăturii liniei depinde de tipul izolatoarelor folosite, de tensiunea liniei, de importanța liniei şi de condițiile climatice din regiunea prin care trece linia.

S-a arătat anterior că la liniile electrice aeriene se folosesc două tipuri de izolatoare: rigide şi de suspensie. Izolatoarele se pot prinde, prin intermediul suporților, de console speciale sau direct de stîlp.

SUPORȚII IZOLATOARELOR RIGIDE

Acești suporți pot fi curbi sau drepți. Dimensiunile lor depind de tensiunea liniei și de dimensiunile izolatoarelor. Izolatoarele rigide se folosesc la liniile de joasă tensiune și la liniile cu tensiunea pînă la 15 kV.

Izolatoarele de susținere de joasă tensiune de tipul N se montează pe suporți metalici, care pot fi de două feluri : curbi sau drepți.

Suporții curbi pentru joasă tensiune sînt standardizați prin STAS 381—49, iar cei drepți prin STAS 349—49.

Suporții curbi (fig. 8—1) se fixează direct pe stîlpii de lemn, în care se înșurubează, folosindu-se partea lor filetată.

Suporții drepți (fig. 8—2) se fixează pe stîlpi prin intermediul unei console metalice, cum este cea din figura 8—3, care, la rîndul ei, se fixează pe stîlp prin șuruburi sau brățări.

Izolatoarele de tracțiune de tipurile T și TD se fixează pe stîlpi fie prin console, fie direct pe stîlpi. Un suport pentru un astfel de izolator este reprezentat în figura 8—4.

Prinderea izolatoarelor de tracțiune pe stîlpii de lemn prin console verticale este reprezentată în figura 8—5.

Fixarea izolatoarelor pe suporți se face cu ciment, ipsos, plumb sau cînepă îmbibată cu miniu de plumb.

La liniile de 6—15 kV, ca și la liniile de joasă tensiune, izolatoarele rigide se fixează fie pe suporți curbi, fie pe suporți drepți.

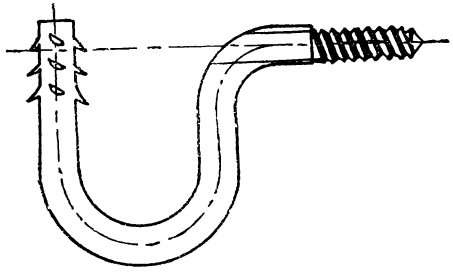


Fig. 8—1. Suport curb de izolator.

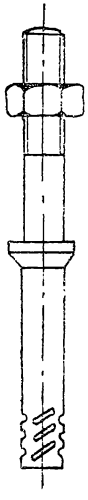


Fig. 8—2. Suport drept de izolator.

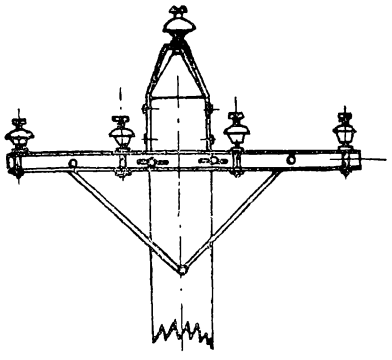


Fig. 8—3. Consolă metalică orizontală.

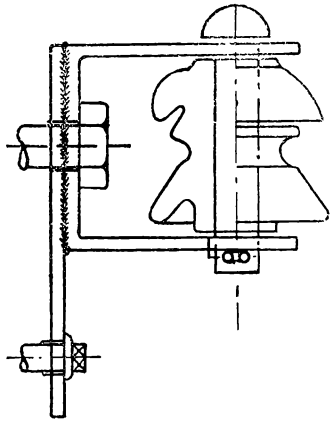


Fig. 8—4. Suport de izolator T de joasă tensiune.

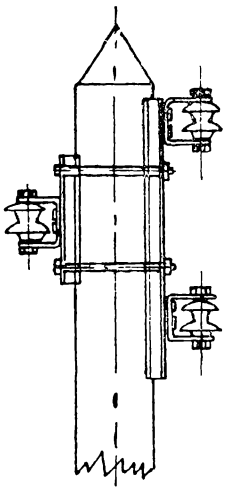


Fig. 8—5. Fixarea izolatoarelor de tracţiune pe console verticale.

Suporţii curbi au formă asemănătoare cu cei folosiţi la joasă tensiune, însă au dimensiuni mai mari. Se folosesc numai la susţinere la stîlpii de lemn. Ei se înşurubează direct în stîlp. Prinderea izolatorului de suport se face cu fuior de cînepă umezit cu ulei de in şi miniu de plumb.

Mai răspîndiţi sînt suporţii drepţi. Acesţia se fixează pe stîlpi cu ajutorul unor console metalice din oţel cornier sau din oţel U.

Conductoarele de protecţie (firele de gardă) se prind de stîlpi fără a fi izolate, cu ajutorul unor piese numite vîrfare.

Întrebări recapitulative

1. Ce rol au armăturile liniilor aeriene?
2. După ce criterii se clasifică suporţii izolatoarelor?
3. Cum se fixează conductoarele de protecţie pe stîlp?

ARMĂTURILE LANŢURILOR CU IZOLATOARE DE SUSPENSIE

Liniile de înaltă tensiune de la 35 kV în sus se echipează cu lanţuri formate din izolatoare de suspensie. Lanţurile pot fi de susţinere sau de întindere.

Lanţul de izolatoare de susţinere (fig. 8—6), care are rolul de a susţine numai greutatea conductorului, fără a prelua şi efortul de tracţiune al acestuia, are poziţie verticală şi este fixat de consolă articulat cu un inel

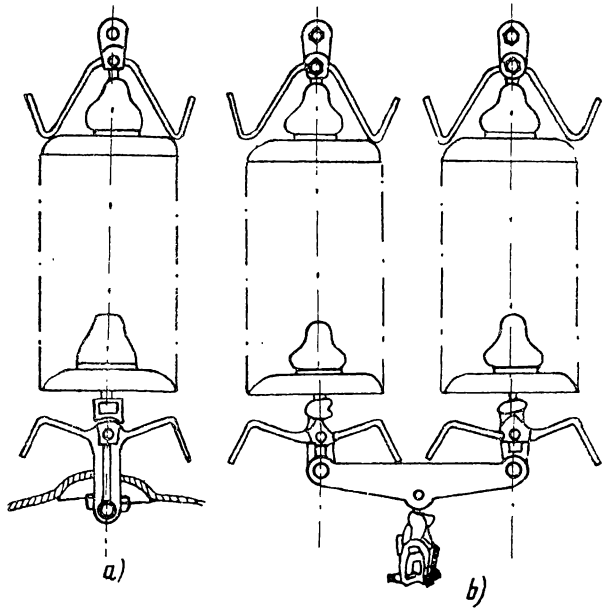


Fig. 8—6. Lanțuri de izolatoare de susținere :
a — lanț simplu ; *b* — lanț dublu.

de suspensie. El poate oscila perpendicular pe linie iar în cazul ruperii conductorului se înclină și micșorează astfel efortul care acționează asupra stîlpului.

În terenurile accidentate pot fi situații în care lanțurile de izolatoare de susținere au tendința să fie împinse în sus de conductoare, atunci cînd stîlpul la care sînt montate este încadrat de doi stîlpi aflați mult mai sus. În asemenea situații lanțurile de izolatoare sînt ținute vertical cu ajutorul unor contragreutăți.

Lanțul de izolatoare de întindere (fig. 8—7) care are rolul de a prelua și efortul de tracțiune al conductorului are poziție orizontală. Pentru fiecare fază a liniei, de o parte și de cealaltă a stîlpului se montează cîte un lanț de izolatoare. Conductoarele sînt fixate rigid cu cleme de întindere prin care trec capetele conductoarelor. Cele două capete de conductoare

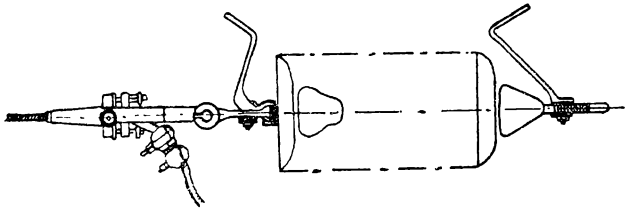


Fig. 8—7. Lanț de izolatoare de întindere.

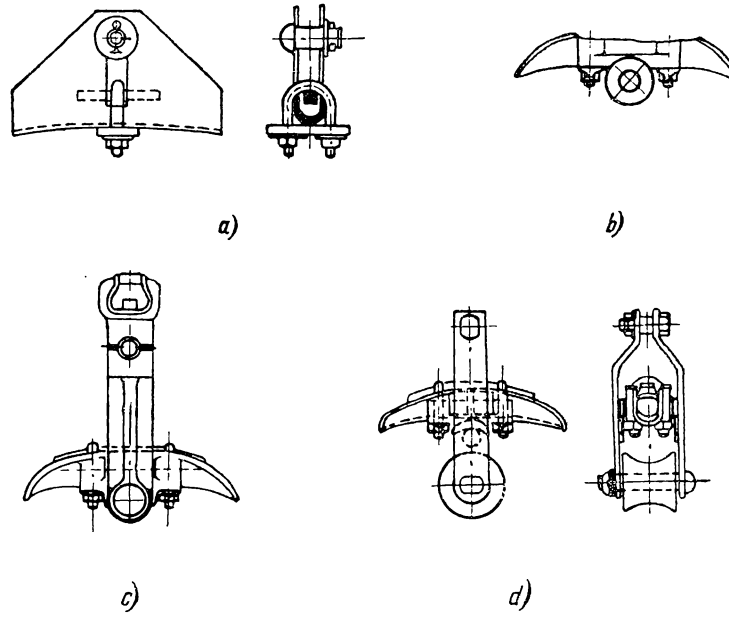


Fig. 8—8. Cleme de susținere :
a — clemă fixă (Sf) ; *b* — clemă oscilantă (So) ; *c* — clemă oscilantă cu declanșare (Sod) ; *d* — clemă oscilantă cu declanșare și rolă de alunecare (Sodr).

dintr-o parte și din cealaltă parte a stîlpului se unesc între ele, formînd bucle care trec pe sub consola stîlpului de întindere.

Pentru prinderea conductoarelor active de lanțurile de izolatoare și pentru prinderea conductorului de protecție de vîrfarul stîlpului se folosesc cleme speciale.

a. **Cleme de susținere.** La lanțurile de susținere cu izolatoare de suspensie, rolul principal al clemelor este să suporte greutatea conductorului. Numai în regim de avarie (la ruperea conductorului) clema este supusă forței de tracțiune dintr-o parte. În figura 8—8 sînt arătate principalele tipuri de cleme de susținere utilizate la liniile aeriene și anume :

— cleme de susținere fixe Sf, la care conductorul este fixat rigid în clemă (fig. 8—8, *a*) ;

— cleme de susținere oscilante So, la care conductorul permite oscilații ale clemei față de poziția verticală a lanțului (fig. 8—8, *b*) ;

— cleme de susținere oscilante cu declanșare Sod (fig. 8—8, *c*) și cleme de susținere oscilante cu declanșare și rolă de alunecare Sodr (fig. 8—8, *d*), care în momentul ruperii conductorului, ajungînd la o înclinare mai mare de 45° față de poziția verticală, eliberează conductorul, care alunecă și cade la pămînt. Rola de alunecare protejează conductorul împotriva deteriorării în momentul alunecării.

b. **Cleme de întindere.** La lanțurile de întindere, clema suportă permanent tracțiunea conductorului și de aceea trebuie să aibă o mare rezistență mecanică. Se utilizează două tipuri de cleme de întindere (fig. 8—9) :

— cleme de întindere cu pană TP (fig. 8—9, *a*) ;

— cleme de întindere cu con TC (fig. 8—9, *b*).

Cele mai răspîndite sînt clemele de întindere cu con.

c. **Cleme pentru conductoarele de protecție.** Se folosesc pentru legarea conductoarelor de protecție de vîrfarele stîlpilor.

Clemele utilizate sînt de tipul clemelor demontabile și se confecționează din oțel zincat.

Ca și la conductoarele active, clemele pentru conductoarele de protecție pot fi de susținere sau de întindere.

Astfel, în figura 8—10 se vede o clemă de susținere oscilantă și în figura 8—11 o clemă de tracțiune cu role. Ambele cleme se fixează pe vîrful stîlpilor.

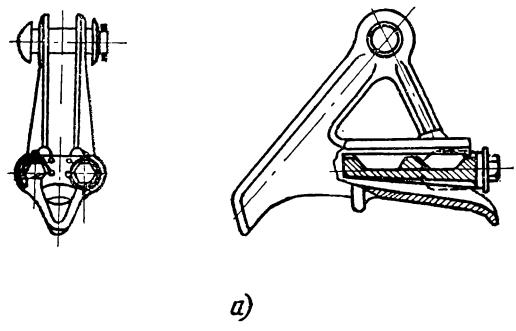


Fig. 8—9. Cleme de întindere : *a* — cu pană (TP) ; *b* — cu con (TC).

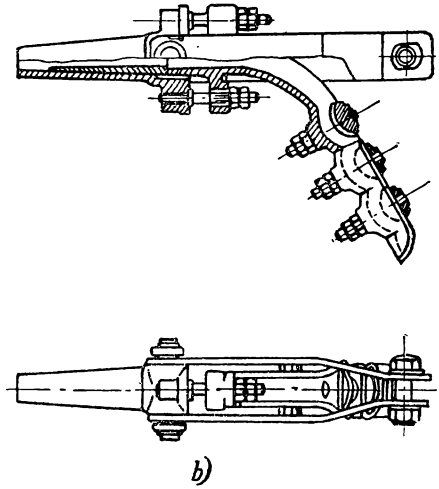
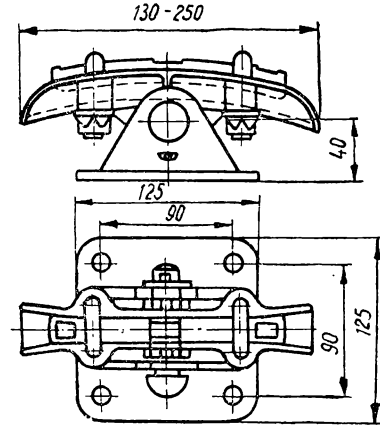


Fig. 8—10. Clemă oscilantă de susținere pentru conductoare de protecție.



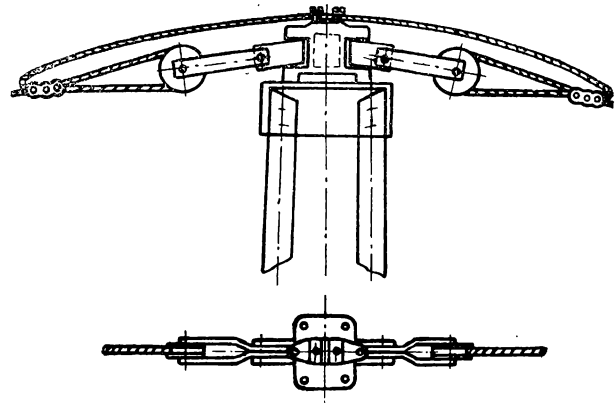


Fig. 8—11. Clemă de tracțiune cu role pentru conductoare de protecție.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică lanțurile de izolatoare după rolul pe care-l îndeplinesc?
2. Să se enumere principalele tipuri de cleme de susținere.
3. Ce tipuri de cleme de întindere se folosesc?

ÎNNĂDIREA CONDUCTOARELOR. AȘEZAREA CONDUCTOARELOR PE STÎLPI

1. Înnădirea conductoarelor

Pentru înnădirea conductoarelor, atît între doi stîlpi, dacă este cazul, cît și la legarea capetelor conductoarelor la stîlpii de întindere se folosesc cleme de înnădire. După solicitările pe care le suportă, clemele de înnădire sînt de două feluri:

— cleme pentru legătură mecanică și electrică;
— cleme pentru legătură electrică.

Pentru legături mecanice și electrice se folosesc două tipuri de cleme: fixe cu crestături și demontabile cu buloane sau nituri (fig. 8—12).

Ambele tipuri de cleme se confecționează din același material ca și conductorul și trebuie ca după montare să aibă cel puțin 90 % din rezistența la tracțiune a conductorului. Clemele cu crestături se fixează prin presare cu un clește special, iar celelalte prin strîngere cu nituri sau buloane.

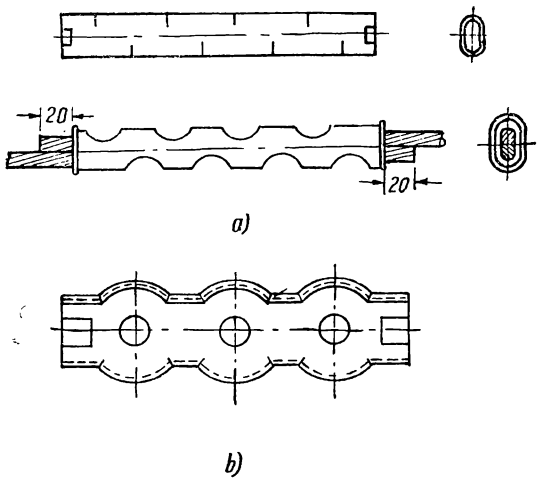


Fig. 8—12. Cleme de înnădire :
a — fixe cu crestături ; *b* — demontabile cu buloane sau nituri

Pentru legături electrice (fig. 8—13) se folosesc cleme demontabile denumite cleme universale (pentru linii electrice aeriene de joasă tensiune) sau cleme cu plăci de contact (pentru linii aeriene de înaltă tensiune).

Clemele pentru legătură electrică pot fi montate numai acolo unde conductorul nu suportă un efort de tracțiune.

Un tip special de cleme de legătură electrică îl constituie cele pentru legarea conductoarelor de cupru cu conductoare de aluminiu (denumite cleme CUPAL).

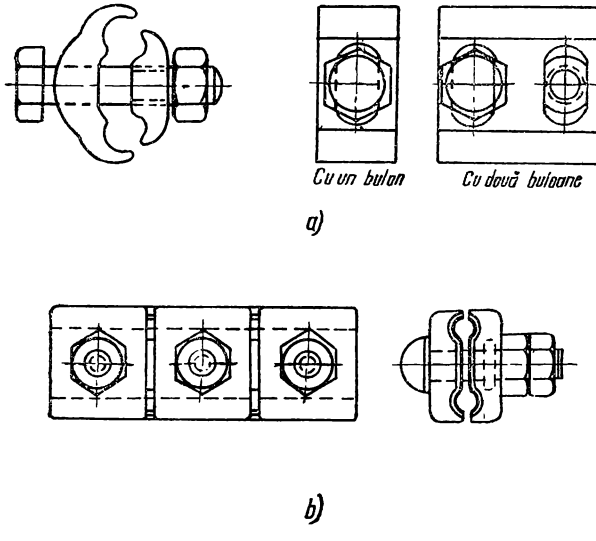


Fig. 8—13. Cleme pentru legături electrice :
a — clemă universală ; *b* — clemă cu plăci de contact.

2. Aşezarea conductoarelor pe stîlpi

Modul de aşezare a conductoarelor pe stîlpi se alege în funcţie de tipul stîlpilor, numărul de circuite pe stîlp, condiţiile climatice şi natura terenului de-a lungul traseului liniei. Scopul aşezării într-un anumit fel este de a realiza condiţii de izolaţie cît mai bune, de a reduce dimensiunile stîlpilor şi de a mări siguranţa din punct de vedere mecanic.

La liniile de joasă tensiune conductoarele se aşază pe stîlpi fie unul sub altul, fie orizontal pe console. Aşezarea cea mai des întîlnită este cea verticală, pe una sau pe ambele părţi ale stîlpului (fig. 8—14).

La liniile de joasă tensiune din oraşe şi sate (liniile de distribuţie publică), aşezarea conductoarelor se face întotdeauna într-o ordine precisă. Astfel, conductoarele pentru iluminatul particular (legăturile la locuinţe) se aşază pe partea dinspre locuinţe. Conductorul pentru iluminat public se aşază înspre partea carosabilă a străzii, iar conductorul neutru (nulul) se obişnuieşte să se monteze pe aceeaşi parte, şi anume în poziţia cea mai de sus.

Aşezarea conductoarelor orizontal pe console se foloseşte, în general, pentru a asigura gabaritele necesare faţă de liniile de radioficare, cînd acestea se află pe stîlpi comuni sau la traversări de linii de telecomunicaţii, căi ferate etc. În asemenea situaţii nulul se montează pe vîrfar, iar conductorul pentru iluminat public se aşază pe consolă spre stradă.

La liniile de înaltă tensiune aşezarea conductoarelor este foarte variată (fig. 8—15). Astfel, conductoarele pot fi dispuse în triunghi, orizontal, vertical, în formă de brad etc.

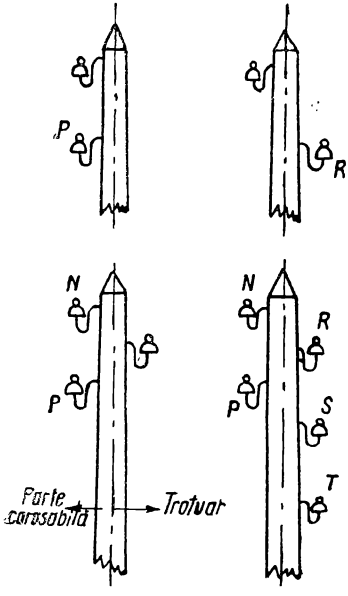
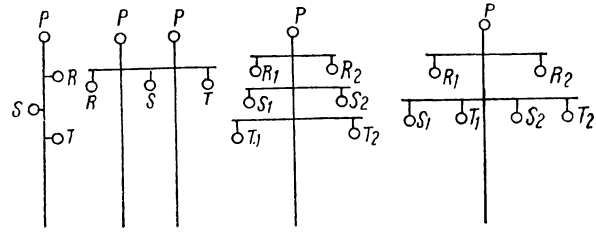


Fig. 8—14. Dispunerea pe stîlp a conductoarelor liniilor de joasă tensiune :
N — conductor neutru; *P* — conductor pentru iluminat public; *R*, *S* şi *T* — conductoare pentru iluminat particular.

Fig. 8—15. Diferite forme de dispunere a conductoarelor liniilor de înaltă tensiune :
P — conductor de protecţie; *R*, *S* şi *T* — conductoare active.



Din punct de vedere mecanic este avantajoasă aşezarea orizontală, în special în regiunile cu polei mult. Astfel, la o linie cu conductoarele aşezate unul sub altul, dacă un conductor încărcat cu polei se descarcă brusc, el este aruncat în sus şi există pericolul să atingă conductorul de deasupra sa. La liniile cu conductoarele aşezate orizontal, pericolul de atingere a conductoarelor între ele este micşorat simţitor. La liniile care trec prin păduri, unde este de dorit ca suprafaţa care se defrişează să fie cît mai mică, sau la liniile care parcurg locuri de traversare mai înguste, este totuşi de preferat o aşezare mai strînsă a conductoarelor. Din punct de vedere electric, cea mai avantajoasă aşezare a conductoarelor este cea în formă de triunghi. Este bine ca cele trei conductoare să formeze un triunghi echilateral, deoarece, în acest caz, inductanţele conductoarelor sînt egale. La celelalte dispoziţii, inductanţele inegale duc la căderi de tensiune diferite în cele trei faze ale liniei, chiar dacă fazele sînt egal încărcate. Din această cauză este necesar ca fazele să fie inversate din distanţă în distanţă, ceea ce este necesar, după cum se va vedea mai departe, şi pentru micşorarea influenţei liniei de înaltă tensiune asupra liniilor de telecomunicaţii al căror traseu este paralel cu ea.

Întrebări recapitulative

1. Ce tipuri de cleme de înnădire se cunosc?
2. Cum se aşază conductoarele unei linii de joasă tensiune pe stîlp?
3. În ce cazuri este preferabilă aşezarea pe verticală a conductoarelor?

Capitolul IX

MONTAREA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

PROIECTUL LINIEI ŞI LUCRĂRILE PREGĂTITOARE

1. Proiectul liniei

Orice linie electrică aeriană, indiferent de tensiunea şi importanţa ei, se execută pe baza unui proiect, care cuprinde toate elementele necesare executării lucrărilor.

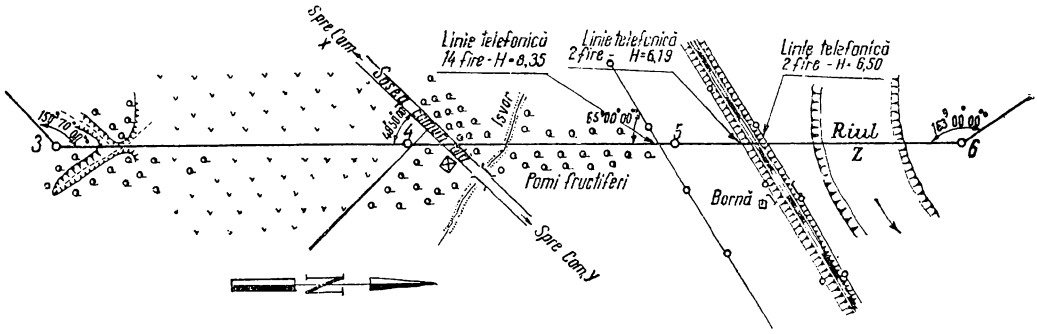


Fig. 9—1. Traseul liniei.

Pentru a se putea întocmi proiectul liniei trebuie cercetat bine terenul în care aceasta urmează să fie amplasată. Se notează pe hartă cele două capete ale liniei şi se trasează cu aproximaţie direcţia ei, ţinîndu-se seamă de posibilitatea de trecere sau de ocolire a unor obstacole naturale : păduri, lacuri, masive muntoase, localităţi etc.

Se obţine astfel o linie frîntă, care uneşte punctul de plecare cu cel de sosire, numită traseul liniei. Adesea sînt posibile mai multe trasee, fiecare dintre ele prezentînd avantaje şi dezavantaje. Dintre toate variantele se alege cea mai avantajoasă, astfel încît lungimea liniei să fie cît mai mică şi costul cît mai redus.

Variantele de trasee alese se trasează pe planul regiunii şi se cere avizul tuturor autorităţilor interesate.

Traseul care a primit aviz favorabil este recunoscut pe teren şi măsurat de către echipele de ridicări topografice. Pentru marcarea traseului liniei, se fixează prin ţăruşi unghiurile de schimbare a direcţiei şi se măsoară distanţele dintre colţuri cu ajutorul panglicii metalice.

Pentru schiţarea traseului se desenează la scară, pe hîrtie, o fîşie de teren lată de aproximativ 100 m şi avînd ca ax traseul liniei (fig. 9—1). Pe schiţă, care se face de obicei la scara 1/100, se notează toate detaliile de teren raportate la ţăruşii traseului : clădiri, terenuri îngrădite, puţuri, şosele, drumuri, căi ferate, liziera pădurii, terenuri semănate, pietre kilometrice etc., precum şi date necesare executării proiectului.

Fixarea punctelor de plantare a stîlpilor se face în atelierele de proiectare după trasarea liniei şi ridicarea profilului.

Poziţia stîlpilor şi înălţimea lor se determină ţinîndu-se seama ca distanţa de la conductorul cel mai de jos al liniei aeriene de energie electrică la suprafaţa terenului să nu fie mai mică decît valorile prescrise în norme.

De asemenea, intersecțiile liniilor aeriene de energie electrică cu alte linii, căi de comunicații sau construcții trebuie să corespundă condițiilor indicate în prescripții.

Se determină tipurile de stîlpi care trebuie utilizați : stîlpi de susținere, de întindere, de colț, terminali, de traversare etc., avîndu-se grijă ca numărul de tipuri să nu fie prea mare, pentru a nu complica execuția.

În lista stîlpilor se trece : numărul și tipul stîlpului, unghiul pe care-l face traseul liniei, distanța dintre stîlpi (deschiderea), lungimea panoului de întindere (distanța dintre doi stîlpi de întindere consecutivi), tipul lanțului de izolatoare, tipul fundațiilor, tracțiunea în conductoare (normală, redusă), traversările peste căi ferate, linii de telecomunicații, zone locuite.

Lista stîlpilor servește la întocmirea listelor de materiale și pentru dirijarea stîlpilor și materialelor pe teren.

Pentru linii mai puțin importante nu este necesară executarea tuturor operațiilor amintite ; în cazul unei linii de distribuție de joasă tensiune urbane, totul se reduce la notarea poziției stîlpilor pe un plan al străzilor, măsurarea și însemnarea pe același plan a distanțelor dintre stîlpi.

În afară de elementele pur tehnice, proiectul trebuie să cuprindă și devizul lucrării, cu calculul exact al tuturor costurilor de execuție : materiale, manoperă, utilaje, transporturi etc.

Pe lîngă execuția în bune condiții tehnice și de calitate a lucrării este tot atît de important ca cheltuielile să se încadreze în prevederile devizului și chiar să se aducă economii față de acesta.

După definitivarea proiectului liniei, se poate trece la executarea lucrărilor de construcție și montaj pe traseu, care se împart în : lucrări pregătitoare și lucrări de construcție și montaj propriu-zise.

2. Lucrările pregătitoare

Lucrările pregătitoare se efectuează înainte de începerea construcției propriu-zise a liniei și sînt : verificarea și pichetarea traseului și apoi defrișarea traseului și organizarea șantierului.

Prin pichetare se înțelege fixarea unor țăruși de lemn în punctele în care conform proiectului, urmează să fie instalați stîlpii.

Cînd linia trece prin pădure, trebuie să se taie copacii pe o lățime cu atît mai mare, cu cît ei sînt mai înalți, pentru ca, în eventualitatea ruperii lor, copacii să nu atingă firele.

La trecerea prin livezi de arbori fructiferi, defrișarea culoarului nu este obligatorie, copacii putînd rămîne chiar și sub linie, cu condiția ca ulterior să se controleze periodic pentru a nu periclita gabaritul liniei.

Pentru ca lucrările să poată fi terminate în termen, ele trebuie executate după un grafic de montaj, în care se arată desfășurarea în timp a diferitelor operații. Organizarea șantierului constă din întocmirea graficelor de montaj și urmărirea lor. Lucrările de construcție și montaj sînt defalcate în operații parțiale. Față de volumul de operații, de timpul în care trebuie executate și de productivitatea fiecărei echipe se determină numărul de echipe și de oameni, precum și utilajele necesare.

Trebuie urmărit ca executarea lucrărilor să se facă exact după grafic și să se intervină ori de cîte ori vreo lipsă ar duce la întîrzieri în execuție.

Întrebări recapitulative

1. Cum se alege traseul unei linii electrice?
2. Cum se face schițarea traseului?
3. La ce servește lista stîlpilor și ce conține ea?

LUCRĂRI DE SĂPĂTURI ȘI FUNDAȚII

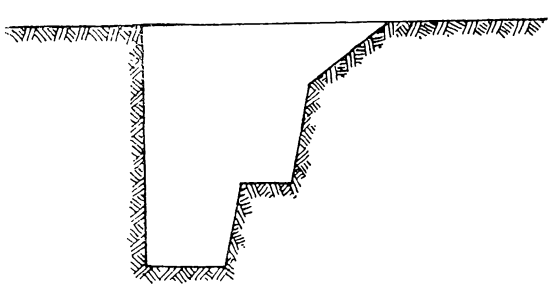
1. Săpături în pămînt

Săpăturile constau din executarea gropilor în locurile de plantare ale stîlpilor. Dimensiunile gropilor trebuie să corespundă fundației stîlpului dat.

Pentru evitarea eventualelor greșeli, înainte de a se începe săparea gropilor se verifică aliniamentul. Apoi se procedează la trasarea gropii, adică se desenează forma gropilor pe suprafața solului, în funcție de dimensiunile lor, conform proiectului. Adîncimea gropii se socotește de la nivelul pămîntului în centrul stîlpului și trebuie să corespundă datelor din proiect.

În terenuri tari, argiloase, pereții gropilor se sapă vertical, pămîntul urmînd să servească și drept cofraj natural, cum este cazul fundațiilor monobloc. În terenuri nisipoase, unde dacă nu s-ar executa consolidări pereții s-ar surpa, pereții gropii se fac înclinați. Se poate evita săparea pereților înclinați, sprijinindu-se pereții gropii cu scînduri.

Din cauza formelor și a dimensiunilor reduse, cele mai multe gropi se sapă manual, cu ajutorul cazmalelor, lopeților, tîrnăcoapelor etc. Gropile



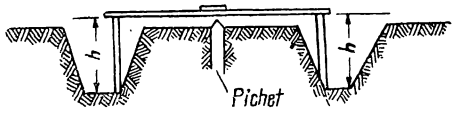


Fig. 9—3. Verificarea gropilor pentru fundații cu ajutorul nivelei cu apă.

Fig. 9—2. Groapă pentru stîlp săpată în trepte.

mai adînci, chiar pentru stîlpi rotunzi, se sapă în trepte (fig. 9—2). Pămîntul rezultat din săpătură se aruncă la o oarecare distanță de la marginea gropii și se așază astfel încît să nu împiedice lucrările următoare de montare.

La stîlpii cu mai multe fundații separate (stîlpii de beton sau de lemn de tip portal) gropile trebuie să aibă fundul la același nivel, dacă nu se prevede altfel în proiect. Verificarea se face cu ajutorul unei nivele cu apă (fig. 9—3). Săparea mecanică se face cu ajutorul unei mașini rotative montată pe un tractor sau autocamion, cu care se pot executa gropi cu diametrul pînă la 1,7 m și cu adîncimea pînă la 3,5 m. Cu astfel de dispozitive pot fi săpați zilnic circa 50 m^3 de pămînt.

În teren stîncos, săpăturile se fac cu ajutorul explozivelor, de către specialiști.

În terenuri mlăștinoase sau îmbibate cu apă sînt necesare consolidări pentru, a se împiedica surparea gropilor. Dacă în timpul săpatului vine apă, pentru evacuarea ei se folosesc găleți, pompe de mînă cu burdufi sau motopompe.

2. Lucrări de beton

Așa cum s-a mai arătat materialul de construcție alcătuit dintr-un amestec de piatră spartă (sau pietriș), nisip, ciment și apă, care prin întărire se transformă într-o masă compactă și rezistentă se numește beton.

Cimentul este un material în formă de praf, obținut prin calcinarea la temperatură înaltă a pietrei de calcar, așa cum se găsește în natură, sau dintr-un amestec de materii prime dozat artificial. Amestecat cu apă are proprietatea de a se întări ca piatra (face priză) și de a-și mări rezistența.

Se fabrică multe feluri de ciment, care diferă din punctul de vedere al materialelor de fabricaţie sau al unor adaosuri speciale; dintre acestea, la executarea fundaţiilor stîlpilor din beton armat se folosesc de obicei următoarele sorturi: ciment Portland, ciment metalurgic şi ciment Portland superior.

Cimentul Portland este obţinut dintr-un amestec compus din: 60—65% calcar (carbonat de calciu); 18—24% silice; 5—10% aluminiu; 1—4% oxid de fier etc. Priza începe după o oră şi se termină cel mult după 10 ore.

Cimentul metalurgic este obţinut prin măcinarea fină a unui amestec de zgură de cuptor înalt granulată şi ciment Portland. Priza începe după o oră şi se termină cel mult după 10 ore.

Cimentul Portland superior are proprietatea că se întăreşte rapid. Se deosebeşte de cimentul Portland normal prin alegerea îngrijită a materiei prime folosite şi prin fabricaţie îngrijită (ardere raţională şi măcinare foarte fină).

Cimenturile pot fi de calităţi diferite, după rezistanţa lor de rupere la compresiune (marca cimentului). Ele se notează printr-o literă majusculă, care reprezintă iniţiala numelui cimentului (P—Portland; M—Metalurgic), urmată de o cifră reprezentînd valoarea rezistenţei de rupere la compresiune. De exemplu: P 500 reprezintă marca cimentului Portland cu rezistenţa de 500 kgf/cm^2.

Cimentul trebuie să fie păstrat uscat, ferit de umezeală şi de curenţi de aer.

Respectarea cantităţii de ciment prescrise este foarte importantă la prepararea betonului; o reducere a acestei cantităţi conduce la slăbirea rezistenţei betonului.

Agregate sau materiale inerte. Se numeşte agregat amestecul de nisip şi pietriş (piatră spartă) sau alte materiale care intră în componenţa betonului împreună cu cimentul.

Amestecul natural de pietriş şi nisip se numeşte balast.

Agregatele trebuie să nu conţină resturi animale şi vegetale, impurităţi pămîntoase, cărbune, lemn, păcură, uleiuri etc. La nevoie, agregatele trebuie spălate; pentru aceasta se folosesc ciururi sau site şi uneori maşini de spălat.

Apa de adaos. Ca apă de adaos la prepararea betoanelor poate fi folosită orice fel de apă întîlnită în natură, care nu este prea murdară şi nu conţine acizi, săruri şi compuşi organici dăunători. Se foloseşte, de preferinţă:

— apă potabilă (de băut) provenită din conducte de alimentare, puțuri sau izvoare care servesc la alimentarea populației;

— apă nepotabilă provenită din lacuri, rîuri, puțuri, izvoare etc.; apă de mare și apă minerală.

Cu excepția apei de băut și de mare, care nu trebuie să îndeplinească decît condiția de a fi curate, pentru celelalte cazuri trebuie să se verifice ca apa să fie limpede și fără miros, să nu fie acidă, să nu primească reziduuri sau scurgeri industriale.

Prepararea betonului se face prin amestecarea cît mai perfectă a părților componente, manual sau cu mijloace mecanice.

Amestecarea manuală se folosește la lucrările de mică importanță sau atunci cînd nu este posibilă utilizarea betonierei, fie din cauza dificultății de aducere a ei la punctul de lucru în teren accidentat, fie din cauza volumului mic de beton turnat. Amestecarea betonului se face pe o platformă curată, umezită. Se amestecă nisipul uscat cu cimentul și apoi cu pietrișul, pînă cînd se obține un amestec cu aspect uniform. Se introduce apoi apa de amestec, în mijlocul grămezii, cu ajutorul unei stropitori. Amestecarea continuă pînă cînd se obține un beton omogen. Se recomandă așezarea pe teren a materialelor, ca în figura 9—4.

Amestecarea mecanică a betonului se face în betoniere cu capacități diferind de la caz la caz. Pentru lucrul pe traseu sînt folosite betoniere ușoare, cu capacitatea de 100—150 l, betonierele mari fiind folosite în instalațiile fixe, în fabrici sau pe șantiere mari. Pe traseu se recomandă așezarea materialelor și a dispozitivelor, ca în figura 9—5.

La lucrări unde cantitățile de beton sînt mici, schema de așezare a materialelor se simplifică în sensul că lîngă groapă este adus balastul (nisipul și pietrișul la un loc), iar de un tractor care merge în lungul liniei se atașează o remorcă cu ciment, o cisternă de apă și betoniera sau o platformă metalică, pe care se poate prepara manual betonul.

Durata de amestec a betonului depinde de natura materialului care se amestecă; betoanele mai moi se amestecă timp de 1—1,5 minute, iar betoanele vîrtoase timp de 2—3 minute.

Cele mai potrivite temperaturi pentru turnarea și păstrarea betoanelor sînt cele cuprinse între +15 și +20 °C. Se poate betona în aer liber la temperaturi mai joase, însă în nici un caz sub +2 °C.

La temperaturi sub 0 °C, apa înghețînd își mărește volumul, fapt care dăunează rezistenței betonului.

Pentru a se evita înghețarea betonului, la turnarea în timpul iernii este necesar ca timpul de priză și viteza de întărire normală a cimentului

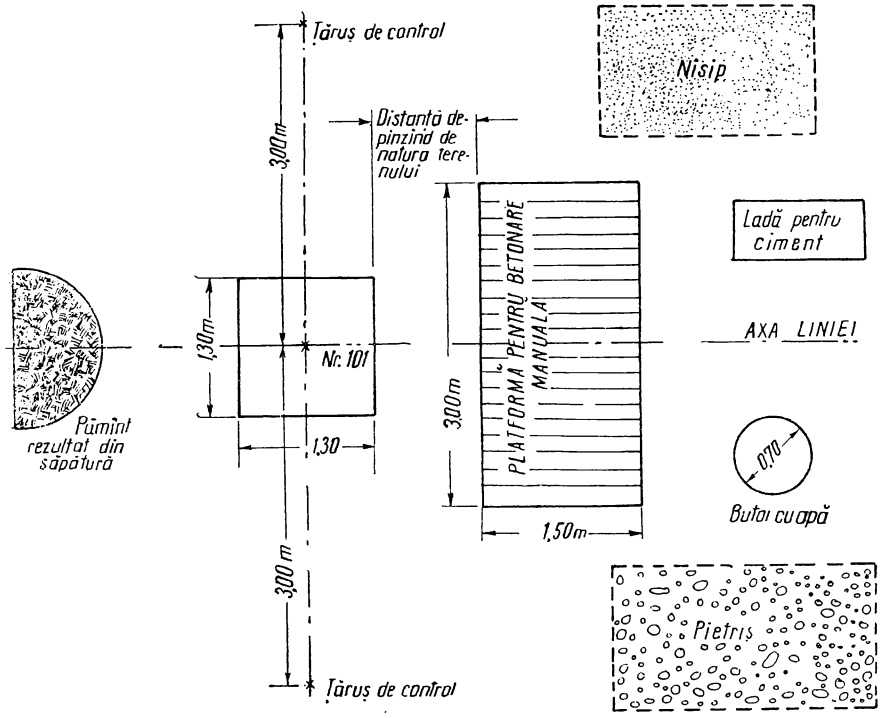


Fig. 9—4. Așezarea materialelor la betonare manuală.

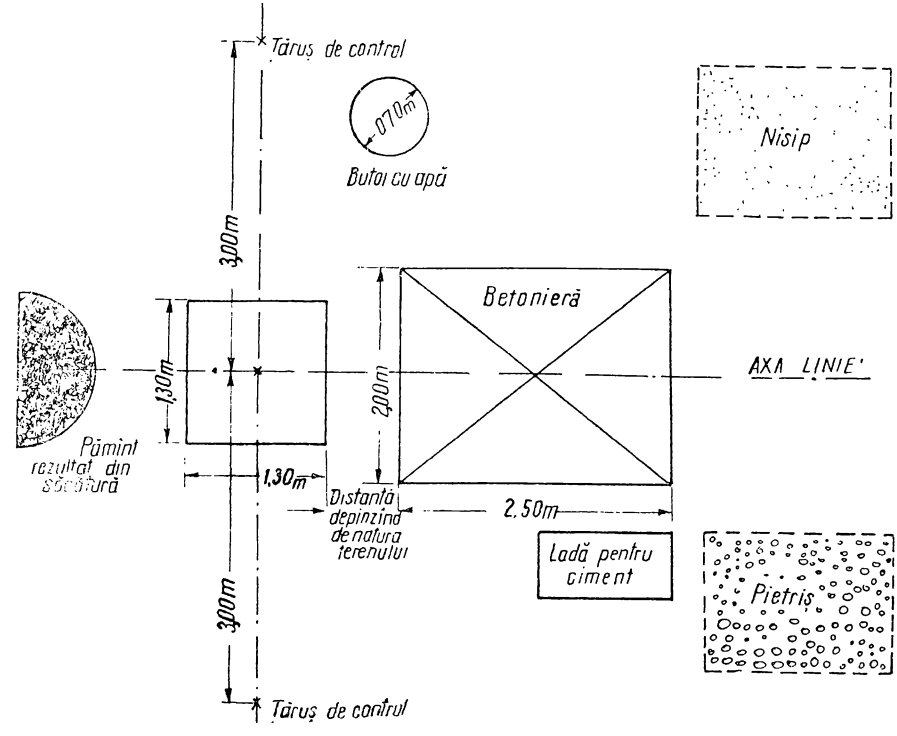


Fig. 9—5. Așezarea materialelor și dispozitivelor la prepararea mecanică a betonului.

să fie scurtate. În acest scop sînt utilizate diferite adaosuri acceleratoare de priză, în special clorura de calciu. Se mai poate accelera întărirea betonului prin încălzirea betonului proaspăt turnat cu ajutorul aburului (etuvare).

3. Fundații prefabricate

Pentru a se reduce cît mai mult prețul de cost al fundațiilor stîlpilor, se folosesc fundații prefabricate. Acestea se confecționează în ateliere centrale și, încărcate pe platforme speciale, sînt aduse pe șantier.

Fundațiile prefabricate pot fi blocuri masive sau piloți pentru a fi bătuți în pămînt.

Pentru stîlpii de lemn se folosesc adaosuri (socluri) de beton, mai ales în terenurile mlăștinoase.

În terenurile accidentate, unde executarea fundațiilor de beton este dificilă, sau iarna, cînd turnarea betonului nu se poate face din cauza temperaturii scăzute, fundațiile din blocuri prefabricate de beton armat ușurează mult montajul.

Întrebări recapitulative

1. Cum se execută gropile pentru stîlpi în terenurile nisipoase și cele mlăștinoase?
2. Cîte feluri de ciment cunoașteți și care sînt caracteristicile lor?
3. Ce condiții trebuie să îndeplinească apa de adaos?
4. Ce sînt fundațiile prefabricate și unde se folosesc ele?

ASAMBLAREA STÎLPILOR

Volumul și felul lucrărilor de montare a stîlpilor pe traseu depind de construcția stîlpului și de numărul și felul elementelor componente care trebuie asamblate pe teren. Se recomandă ca operațiile de asamblare pe traseu să fie reduse la un volum cît mai mic și să fie cît mai simple restul operațiilor făcîndu-se în ateliere centrale specializate.

Stîlpii sînt aduși pe traseu în elemente cît mai mari, mărimea acestora fiind limitată numai de posibilitatea transportului pe platformele va-

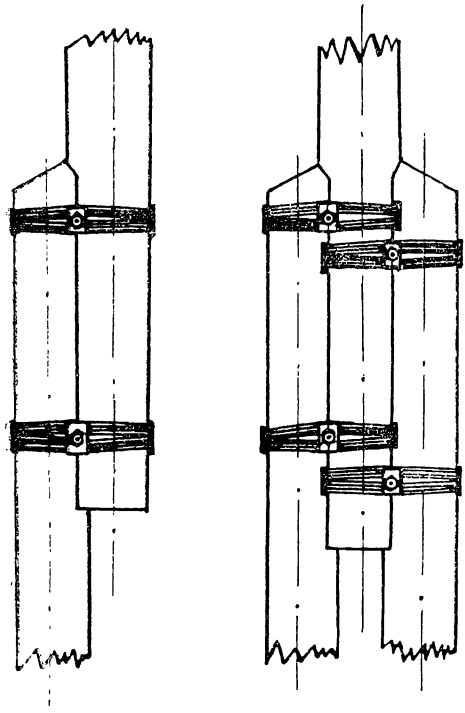


Fig. 9—6. Matisarea stîlpului de susținere cu unul și cu două adaosuri.

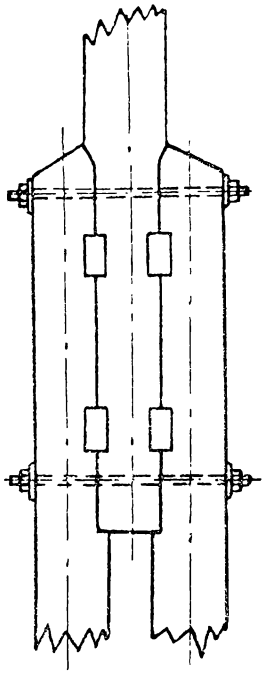
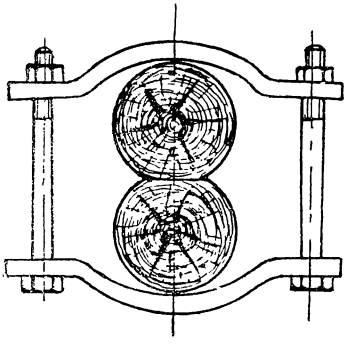


Fig. 9—7. Fixarea adaosurilor cu buloane.

Fig. 9—8. Jug cu buloane pentru fixarea adaosului de stîlp.



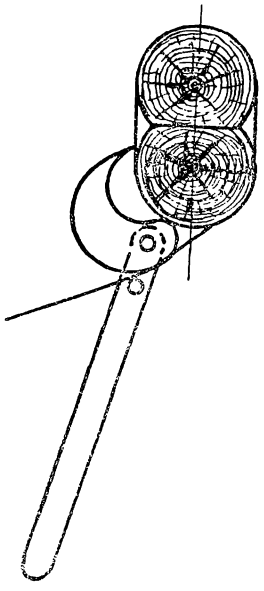


Fig. 9—9. Dispozitiv de matisat.

goanelor de cale ferată şi a transportului de la gară la punctul de plantare cu mijloacele care stau la dispoziţie.

Prin asamblare se înţeleg operaţiile de îmbinare a stîlpului format din tronsoane, de prelungire a stîlpului cu adaosuri şi de îmbinare a stîlpilor compuşi. Modul de asamblare depinde de tipul de stîlpi folosiţi.

Stîlpii de lemn. Împreună cu toate elementele lor componente, stîlpii de lemn sînt aduşi în apropierea locului de instalare gata impregnaţi, cu toate găurile şi prelucrările făcute înainte de impregnare, după planul de execuţie respectiv.

Se verifică dacă stîlpii şi toate elementele componente necesare asamblării se găsesc pe teren şi corespund din punctul de vedere al calităţii şi dimensiunilor.

Se manipulează stîlpii cu ajutorul răngilor şi se aduc în imediata apropiere a gropii, astfel încît asamblarea să se facă pe locul cel mai potrivit în vederea ridicării.

Stîlpii de susţinere sînt, în general, dintr-o singură bucată şi nu necesită decît operaţia de prelungire, în cazul cînd este necesară obţinerea unei lungimi mai mari.

Stîlpii de întindere, terminali şi de colţ sînt stîlpi compuşi, care necesită în toate cazurile operaţia de îmbinare şi, uneori, şi pe aceea de prelungire prin adaosuri.

Asamblarea stîlpilor în scopul prelungirii lor se face prin matisare cu unul sau două adaosuri (fig. 9—6) sau prin buloane (în acest caz numai cu două adaosuri), pentru a se evita solicitarea buloanelor la încovoiere (fig. 9—7).

Stîlpii sînt aduşi unul lîngă altul şi fixaţi în poziţia de asamblare cu ajutorul jugurilor cu buloane (fig. 9—8). La matisare, spirele se strîng cît mai lipite una de alta, pentru a forma un bandaj continuu, cu ajutorul dispozitivului de matisat (fig. 9—9). Capătul liber al sîrmei se trece pe sub bandaj şi se fixează de stîlp cu scoabe de sîrmă.

Pentru asamblarea stîlpilor compuşi, de exemplu a celor în formă de A cu adaosuri, se face mai întîi operaţia de prelungire a picioarelor, cum s-a arătat mai înainte, şi numai după aceea operaţia de îmbinare a celor două picioare, pentru a obţine forma de stîlp A.

Stîlpii metalici. Pentru asamblarea stîlpilor metalici, care sînt aduşi pe teren sub formă de tronsoane, se aşază pe pămînt tronsoanele, consolele şi vîrfarul stîlpului, în ordinea prevăzută prin schema de montaj şi într-o astfel de poziţie încît să permită amplasarea dispozitivelor de ridicat şi ridicarea stîlpului. Părţile componente se reazemă pe bucăţi de lemn; se potrivesc îmbinările şi se fixează şuruburile de asamblare la noduri, verificîndu-se în acelaşi timp poziţia elementelor asamblate. În timpul lucrărilor de-

asamblare poate să fie necesară deplasarea tronsoanelor pe distanțe mici sau ridicarea lor pentru potrivirea îmbinărilor. Aceste manipulări necesită o muncă grea. Folosirea la astfel de lucrări a utilajelor mecanice (macarale, tractoare) grăbește asamblarea și reduce foarte mult numărul de muncitori.

O atenție deosebită trebuie dată executării îmbinărilor cu șuruburi.

Stîlpii de beton armat. Stîlpii de beton armat centrifugat, pînă la 20 m lungime, cu greutatea pînă la 3—3,5 t, se execută dintr-o bucată sau din două bucăți (tronsoane), care trebuie asamblate pe șantier. Unii stîlpi speciali se execută din două picioare, care, la rîndul lor, pot fi constituite fiecare din cîte două tronsoane. Cele două picioare se leagă între ele, pe șantier, prin bride de beton.

Stîlpii de beton armat vibrat cu lungimea pînă la 14—15 m și avînd greutăți pînă la 3—3,5 t se execută dintr-o bucată. Stîlpii mai lungi se execută din două bucăți (tronsoane) asamblate pe șantier.

Consolele, executate din beton sau metalice, pentru oricare dintre categoriile de stîlpi, sînt aduse separat și fixate pe stîlp înainte de ridicarea acestuia.

Stîlpii (sau tronsoanele de stîlp și accesoriile) sînt aduși lîngă groapă fie prin rostogolire (stîlpii de beton centrifugat), fie prin tîrîre (stîlpii de beton vibrat) și sînt așezați pe pămînt în ordinea prevăzută în schema de montaj. Poziția aleasă trebuie să permită ridicarea stîlpilor după metoda hotărîtă.

În figura 9—10 s-a reprezentat un stîlp de susținere centrifugat, din două tronsoane, asamblat.

Cu ajutorul a două macarale trepied se introduce tronsonul *I* în tronsonul *II* și se împănează în această poziție. Golul dintre cele două tronsoane se astupă de jur împrejur cu mortar de ciment. După întărirea gulerului de beton se toarnă mortarul de ciment fluid (două părți nisip cernut și o parte ciment P 400), prin gaura de la partea superioară, și se lasă să facă priză. Se procedează în același fel la fixarea consolelor și a bridelor în cazul stîlpilor speciali.

Tronsoanele stîlpilor de beton armat vibrat (acolo unde este cazul) se leagă între ele printr-o îmbinare metalică cu plăci, cu flanșe de oțel și buloane.

După strîngerea piulițelor, îmbinarea metalică se betonează. Stîlpul asamblat trebuie să rămînă nemișcat timp de circa cinci zile, pînă cînd mortarul de ciment turnat la îmbinări se întărește suficient ca să poată fi ridicat stîlpul.

Iarna trebuie luate măsuri speciale pentru a se feri de îngheț îmbinările executate : se folosește apă și nisip încălzit la circa 60 °C ; se încălzesc îmbinările, iar după betonare se acoperă zona respectivă cu un strat de 20 cm de bălegar sau de paie uscate, peste care se pune un strat de pămînt neînghețat, de circa 50 cm.

Întrebări recapitulative

1. Cum se face asamblarea stîlpilor de lemn?
2. Cum se asamblează stîlpii metalici?
3. Cum se asamblează stîlpii de beton armat?

RIDICAREA STÎLPILOR

Prin ridicarea unui stîlp se înțeleg toate operațiile prin care acesta este adus din poziția în care el se găsește pe teren, după transport și asamblare, în poziție verticală, gata fixat de fundația respectivă sau îngropat în pămînt.

Ridicarea se execută în mod diferit, după natura stîlpului (lemn, metal, beton), greutatea și lungimea stîlpului, tipul stîlpului (simplu, tip A, portal,

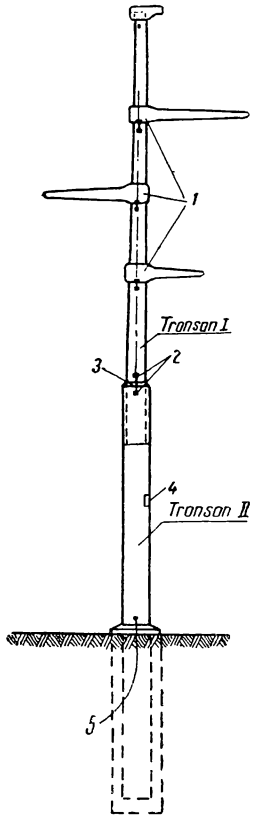
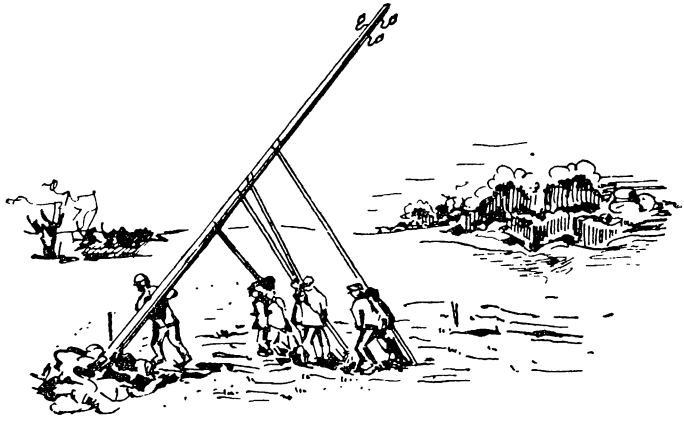


Fig. 9—10. Stîlp de susținere din două tronsoane pentru linii de 35 kV:

1 — console; *2* — piulițe (plăcuțe) de legare la pămînt; *3* — oțel lat 40 × 3 mm zincat; *4* — inscripție avertizoare; *5* — spre priza de legare la pămînt.

Fig. 9—11. Ridicarea stîlpilor cu ajutorul furcilor și prăjinilor.



cu baza îngustă sau lată etc.), modul de fixare în pămînt (prin îngropare, fixare în fundaţie de beton etc.).

Ridicarea stîlpului poate fi făcută prin una din următoarele metode :

— ridicarea cu ajutorul furcilor sau a prăjinilor ;

— ridicarea cu unul sau cu două catarge (stîlpi ajutători ficşi) ;

— ridicarea cu ajutorul unei capre mobile sau al unui stîlp ajutător mobil ;

— ridicarea cu ajutorul unor utilaje speciale.

După ridicarea propriu-zisă a stîlpului urmează alinierea şi verificarea verticalităţii stîlpului, pentru a fi adus exact în poziţie corespunzătoare proiectului, urmează apoi fixarea stîlpului de fundaţie sau în groapă şi demontarea dispozitivelor folosite la ridicare.

Ridicarea cu ajutorul furcilor sau a prăjinilor este metoda cea mai rudimentară şi mai simplă şi este folosită la ridicarea stîlpilor de lemn simpli sau de tip A (fig. 9—11).

Stîlpii se ridică fie armaţi (cu suporţi curbi şi cu izolatoare sau console), fie nearmaţi.

Se ridică întîi capul stîlpului cu braţele pînă la înălţimea unui butuc şi se aşază pe acesta. Se continuă ridicarea cu braţele şi se introduc treptat sub el furcile şi prăjinile. Pe măsură ce stîlpul se ridică, furcile şi prăjinile se deplasează, pe rînd, spre baza stîlpului. Baza stîlpului alunecă în groapă pe o scîndură aşezată vertical şi rezemată de peretele gropii, pînă cînd stîlpul ajunge vertical, cu baza pe fundul gropii. Se deplasează apoi stîlpul în groapă pînă cînd se aliniază şi se răsuceşte cu ajutorul unei pîrghii, astfel încît suporţii izolatorului să fie perpendiculari pe aliniament. Se verifică verticalitatea stîlpului din două poziţii perpendiculare una pe alta, cu ajutorul firului cu plumb, împingîndu-l cu furcile pînă este adus în poziţia corectă. Se umple groapa cu pămînt bine bătut cu maiul, în straturi de circa 25—30 cm, observîndu-se ca stîlpul să rămînă vertical.

În terenurile slabe se face „burarea" stîlpului, adică se introduc straturi alternative de pămînt şi de piatră spartă, cu grosimea de cîte 20—25 cm.

La ridicarea stîlpilor compuşi, dubli sau de tip A se procedează la fel, cu deosebirea că numărul de muncitori este mai mare, depinzînd de greutatea şi de lungimea stîlpului.

Ridicarea cu unul sau doi stîlpi ajutători se aplică la stîlpii grei.

Ridicarea stîlpului de beton cu un singur stîlp ajutător (fig. 9—12) constă din prinderea stîlpului de beton într-un punct aşezat puţin mai sus de centrul de greutate şi ridicarea lui cu ajutorul unui palan *3*, legat de vîrful stîlpului ajutător *1*. Piciorul stîlpului ajutător se reazemă pe o talpă din lemn

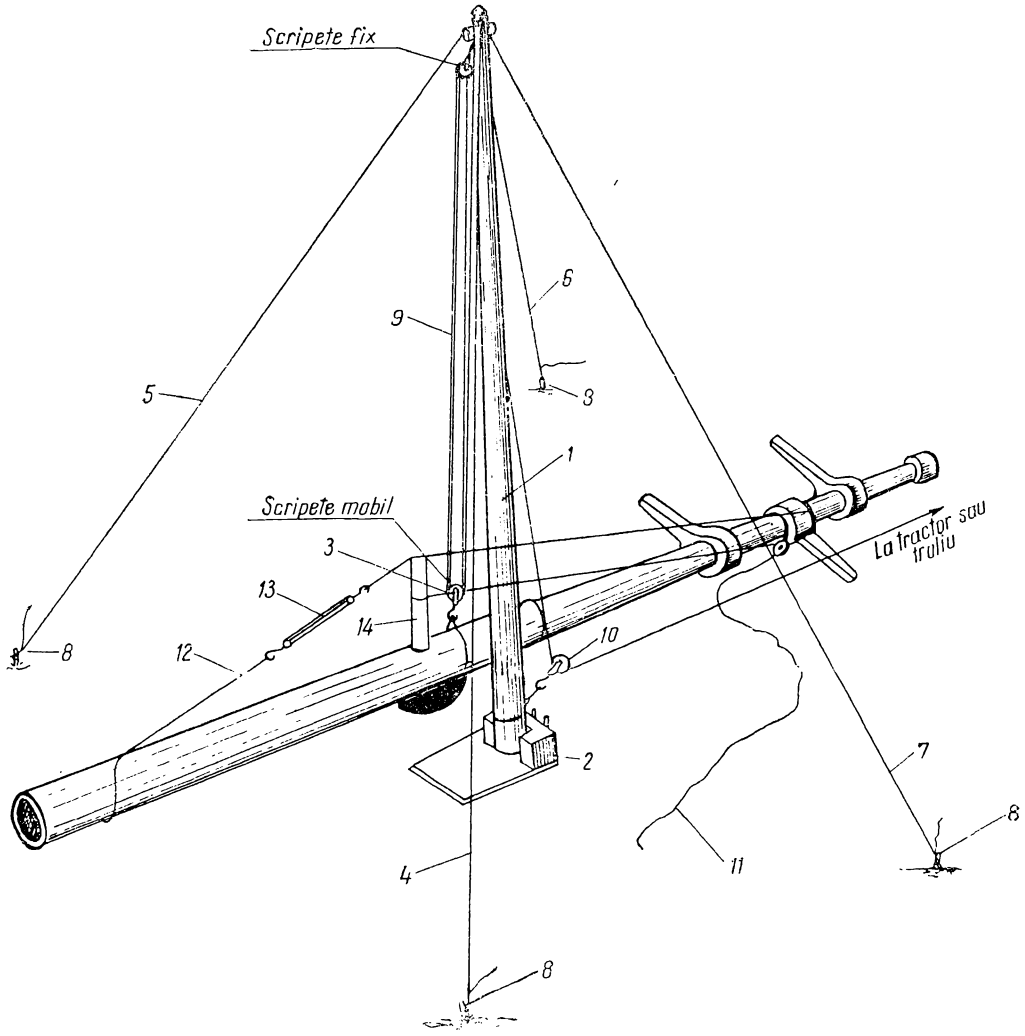


Fig. 9—12. Ridicarea stîlpului de beton cu un stîlp ajutător.

tare *2*, care are dublul rol de a împiedica stîlpul să se înfunde în pămînt și să se deplaseze în direcția în care îl trage cablul. Stîlpul ajutător este ancorat, adică legat cu funiile de oțel *4*, *5*, *6* și *7*, de patru țăruși metalici *8*, bine bătuți în pămînt. Cablul de oțel *9* al palanului coboară de-a lungul stîlpului ajutător, trece peste rola de ghidare *10* legată la baza stîlpului ajutător și se fixează de tamburul troliului sau de cîrligul unui tractor, în funcție de greutatea stîlpului de ridicat.

După ridicarea lui cu ajutorul stîlpului ajutător pînă la o înălțime suficientă, se coboară baza în groapă sau în golul lăsat în fundația de beton, dîndu-se înapoi tractorul sau troliul. În timpul coborîrii în fundație stîlpul este dirijat cu ajutorul unor frînghii *11*, legate de vîrful lui.

Pentru a se împiedica fisurarea și uneori chiar frîngerea stîlpului sub greutatea proprie, se face, de la caz la caz, rigidizarea lui înainte de ridicare ; se leagă un cablu de oțel *12*, pe care este intercalat un tendon *13* de bază și deasupra consolei de jos a stîlpului, sub punctul de legare a cîrligului palanului, se întinde cablul cu ajutorul tendonului și al pîrghiei *14*, pînă cînd stîlpul capătă o mică săgeată în jos.

Metoda poate fi folosită pentru stîlpi de metal sau beton cu o greutate de circa 3—3,5 t.

După demontarea dispozitivului de ridicare stîlpul de beton se rotește în groapă cu ajutorul unei pîrghii, pînă cînd este adus cu consolele într-un plan perpendicular pe direcția liniei ; apoi se manevrează cu vinciurile pînă cînd este adus perfect în aliniament.

Stîlpul este adus în poziție verticală folosind firul cu plumb, prin vizare din două direcții perpendiculare una pe alta, și este menținut în această poziție pînă cînd este bine fixat în pămînt sau în fundația de beton (după caz).

Stîlpii de beton mai grei, cum sînt cei de întindere cu greutăți de 6—10 t, se ridică la fel, însă ridicarea se face cu doi stîlpi ajutători așezați de o parte și de alta a stîlpului de beton care trebuie ridicat.

Ridicarea cu ajutorul unui stîlp ajutător mobil se folosește pentru stîlpii metalici, folosind prinderea montanților cu buloane de picioarele metalice încastrate dinainte în fundațiile de beton.

Stîlpul asamblat și cu toate consolele montate se găsește lîngă fundație, în poziția în care a rămas după asamblare. Se aduce stîlpul sub care s-au introdus butuci de lemn pentru rulare, către fundație, cu ajutorul vinciurilor, rîngilor sau prin tragere cu tractorul.

Pentru ca efortul de ridicare să se repartizeze pe toate picioarele fundației, fiecare dintre fundațiile de care se articulează stîlpul prin balamale se solidarizează prin traverse metalice cu fundația opusă în direcția liniei.

Ridicarea stîlpului cu ajutorul unui stîlp ajutător mobil se face după schema din figura 9—13.

Între picioarele stîlpului se așază, rezemat de el și înclinat puțin către vîrful stîlpului metalic, un stîlp ajutător legat de o parte și de alta de doi țăruși, prin cîte un cablu și un palan. Printr-o crestătură de la vîrful stîlpului ajutător se trece cablul de tracțiune al troliului sau al tractorului și se fixează la stîlpi. Stîlpul metalic (culcat) este ancorat de la vîrful său pe

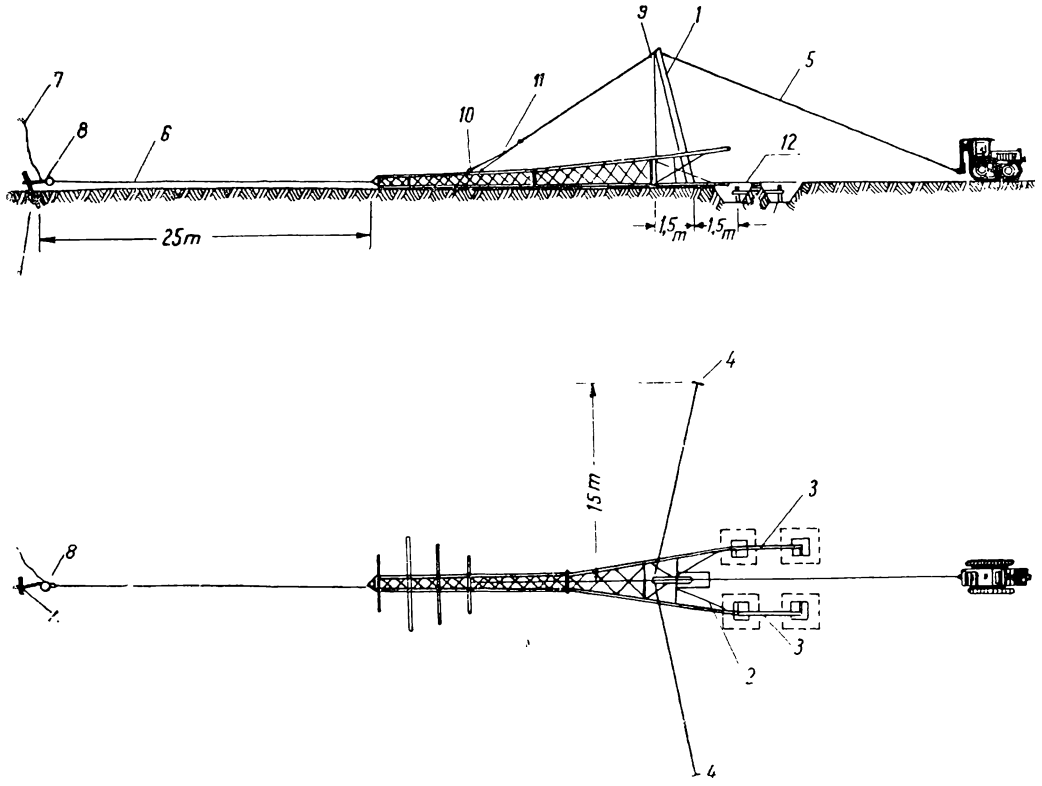


Fig. 9—13. Schema de ridicare a unui stîlp metalic cu ajutorul unui stîlp mobil:
1 — stîlp ajutător; *2* — talpă pentru stîlpul ajutător; *3* — traverse pentru consolidare; *4* — ţăruş de ancorare; *5* — cablu de tracţiune de oţel; *6* — cablu de frînare de oţel; *7* — capătul cablului de oţel; *8* — butuc de frînare; *9* — cercel de oprire pe cablu; *10* — cercel de prindere; *11* — cablu de oţel cu ochiuri; *12* — balamale.

direcţia axei longitudinale; această ancoră are drept scop să ghideze stîlpul în timpul ridicării şi, în acelaşi timp, să reţină stîlpul în momentul în care, o dată ajuns aproape vertical, centrul său de greutate trece dincolo de linia balamalelor.

La deplasarea înceată a tractorului pe prelungirea axei stîlpului, partea de sus a acestuia începe să se ridice; lucrătorii de la cablul de frînare legat de vîrful stîlpului slăbesc treptat cablul, urmărind deplasarea vîrfului stîlpului. Lucrătorii de la palanele cablurilor de ancorare ale capătului stîlpului ajutător slăbesc sau întind frînghiile palanelor, pentru a menţine întinse ancorele respective. Se continuă ridicarea pînă cînd montanţii stîlpului se aplică pe picioarele de fundaţie, de care se fixează cu buloane. Cu aceasta operaţia de ridicare este terminată. Prin aceeaşi metodă pot fi ridicaţi şi stîlpii de

lemn portali, în care caz stîlpul ajutător este înlocuit cu o capră mobilă, neancorată lateral. Metoda ridicării cu stîlp sau cu capră mobilă este cea mai răspîndită şi poate fi folosită, cu adaptări de la caz la caz, în aproape toate situaţiile.

Ridicarea stîlpilor cu ajutorul unor utilaje speciale elimină complet lucrările pregătitoare pentru instalarea şi pentru demontarea lor. Aceasta înseamnă că lucrările pot fi executate mai repede şi cu un număr mai mic de muncitori.

În ţara noastră se folosesc următoarele mecanisme speciale de ridicat:

— Dispozitivul de ridicare a stîlpilor montat pe autocamion este alcătuit dintr-un trepied din ţeavă de oţel, aşezat în partea din spate a autocamionului, şi dintr-un troliu mecanic acţionat de motorul acestuia şi fixat în partea din faţă a platformei.

Acest dispozitiv poate ridica stîlpi cu o greutate pînă la 1—2 t şi este folosit la ridicarea stîlpilor simpli la linii de joasă tensiune şi de 6—15 kV, în terenuri în care poate pătrunde autocamionul.

— Dispozitivul de ridicare a stîlpilor montat pe un tractor este alcătuit dintr-o construcţie din ţeavă de oţel aşezată în partea din faţă a unui tractor greu pe şenile şi dintr-un troliu mecanic, acţionat de motorul acestuia şi fixat în partea din spate a tractorului. Înălţimea pînă la cîrlig este de circa 10 m. Construcţia metalică poate fi culcată, pentru a permite trecerea tractorului pe sub liniile întîlnite pe teren.

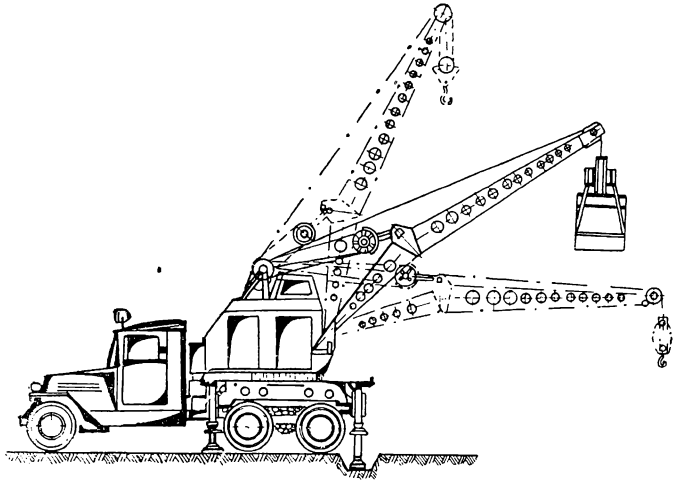


Fig. 9—14. Macara cu acţionare mecanică, montată pe autovehicul cu roţi.

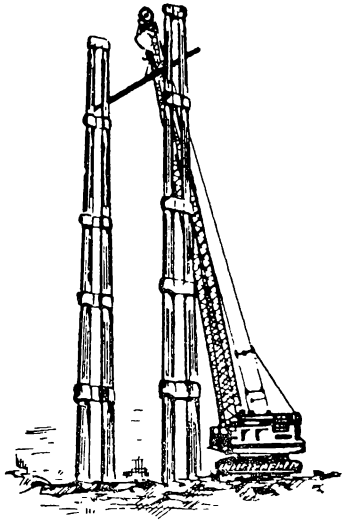


Fig. 9—15. Macara pe şenile.

Cu acest dispozitiv se pot ridica stîlpi cu o greutate de 5—10 t, fiind folosit la ridicarea stîlpilor de orice tip, în orice fel de teren în care pătrunde tractorul pe şenile.

— Macaraua auto cu capacitatea de ridicare de 3 sau 5 t (fig. 9—14) este folosită la ridicarea stîlpilor de lemn sau de beton, atît pentru liniile de joasă tensiune, cît şi pentru cele de 6—15 kV şi de 35 kV.

Macaralele auto pot ridica zilnic un mare număr de stîlpi, însă nu se pot deplasa decît pe timp uscat.

— Macaraua pe şenile (fig. 9—15), cu capacitatea de ridicare pînă la 10 t, poate ridica stîlpi de lemn, metalici sau de beton de orice tip, cu greutatea pînă la 8—10 t.

Ridicarea se face astfel : după asamblare stîlpul este lăsat lîngă groapă sau fundaţie. Macaraua se apropie de stîlp şi se aşază în poziţie potrivită pentru efectuarea manevrelor ; se ataşează cîrligul de tracţiune al braţului macaralei de căpăstrul care se prinde de stîlp ceva mai sus de centrul lui de greutate. Macaraua ridică stîlpul încet şi-l suceşte pînă cînd îl aduce cu baza exact deasupra fundaţiei, lăsîndu-l apoi încet jos.

Întrebări recapitulative

1. Cum se ridică stîlpii cu ajutorul furcilor şi al prăjinilor ?
2. Cum se ridică un stîlp de beton folosind un stîlp ajutător ?
3. Ce utilaje speciale de ridicare a stîlpilor cunoaşteţi ?

MONTAREA CONDUCTOARELOR

Prin montarea conductoarelor se înţelege ansamblul de operaţii prin care conductoarele active sau cele de protecţie sînt montate la partea superioară a stîlpilor în poziţia lor de funcţionare, şi anume pe izolatoarele suport la linii cu izolatoare rigide sau la capătul lanţurilor de izolatoare de suspensie. Montarea conductoarelor poate să înceapă numai după ce a fost montată o parte importantă din stîlpii liniei şi după ce au fost ridicaţi cel puţin toţi stîlpii unui panou de întindere.

Montarea conductoarelor comportă următoarele operaţii principale : lucrări pregătitoare, desfăşurarea conductoarelor, înnădirea conductoarelor, întinderea (tragerea) conductoarelor la săgeată şi legarea conductoarelor de izolatoare.

a. **Lucrări pregătitoare.** Conductoarele sînt fabricate şi transportate înfăşurate pe tambure de lemn.

Tamburele sînt repartizate pe traseul liniei, ţinîndu-se seama de lungimea conductorului şi de lungimea panourilor de întindere, pentru a se da o cît mai bună utilizare conductorului, pentru a se face cît mai puţine înnădiri şi pentru a se evita capetele scurte care se pierd.

Tamburele trebuie depozitate, manipulate şi transportate totdeauna în picioare. Rostogolirea lor se face numai în sens invers înfăşurării conductorului pe tambur, pentru a se evita slăbirea spirelor.

b. **Desfăşurarea conductoarelor** poate fi executată prin două metode : cu tambur fix în timpul desfăşurării şi cu tambur mobil (care se deplasează în lungul liniei) în timpul desfăşurării.

Tragerea conductoarelor poate fi făcută manual, în terenuri inaccesibile unor mijloace mecanizate de tragere (tractoare, troliuri etc.), cu tractorul sau cu troliul şi cu fir pilot. Poate fi folosită oricare dintre metodele arătate, alegerea făcîndu-se după felul conductoarelor, lungimea liniei şi natura terenului (şes, teren deluros, muntos etc.).

În mod normal conductoarele se desfăşoară în ordinea în care sînt aşezate pe stîlp, începînd de sus în jos, în afară de cazul cînd se desfăşoară mai multe conductoare simultan ; în acest caz se desfăşoară întîi toate conductoarele de pe o parte a stîlpului şi apoi se trece la cele de pe cealaltă parte.

Desfăşurarea conductorului cu tambur fix. Dispozitivul pe care se află tamburul sau colacul cu conductorul de desfăşurat se aşază la 10—15 m înainte de stîlpul de întindere de la care se începe desfăşurarea.

Pentru desfăşurare, tamburul este susţinut de un ax din oţel rotund sau din ţeavă. Capetele axului sînt aşezate pe două cricuri sau pe o capră pentru tambure, astfel încît tamburul să se poată roti liber.

De capătul conductorului se leagă o funie de cînepă sau un cablu flexibil de oţel, de care se trage. Pentru conductoare grele sau pentru deschideri mari între stîlpi sînt necesari atîţia muncitori pentru tragerea conductorului încît greutatea pe care o suportă fiecare să nu depăşească 50 kg (fig. 9—16) sau se foloseşte un tractor sau un troliu.

Pentru întinderea conductorului se montează pe fiecare stîlp, pe suporţii curbi sau pe traversele consolelor, cîte o rolă. După depăşirea unui stîlp de susţinere cu aproximativ 30—40 m conductorul desfăşurat se ridică pe rolă cu ajutorul unei frînghii ajutătoare şi se aşază pe şanţul rolei, începînd întotdeauna de la izolatorul din partea superioară către cel din partea inferioară. În cazul izolatoarelor de suspensie, conductorul trecut peste rola de susţinere se ridică o dată cu lanţul de izolatoare.

Desfăşurarea conductorului prin purtarea tamburului pe un cărucior mobil. Tamburul cu conductorul care se desfăşoară este aşezat pe un cărucior de

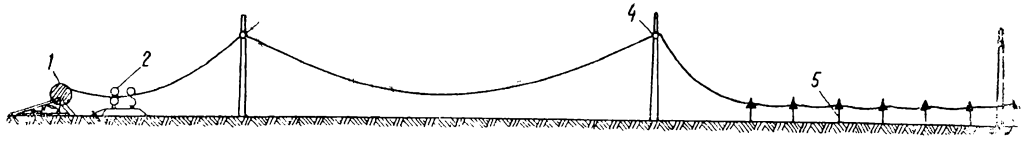


Fig. 9—16. Desfăşurarea manuală a conductorului :
1 — tambur pe capra de desfăşurare; *2* — dispozitiv de frînare; *3* — rolă de întindere; *4* — rolă de susţinere; *5* — muncitorii care poartă conductorul.

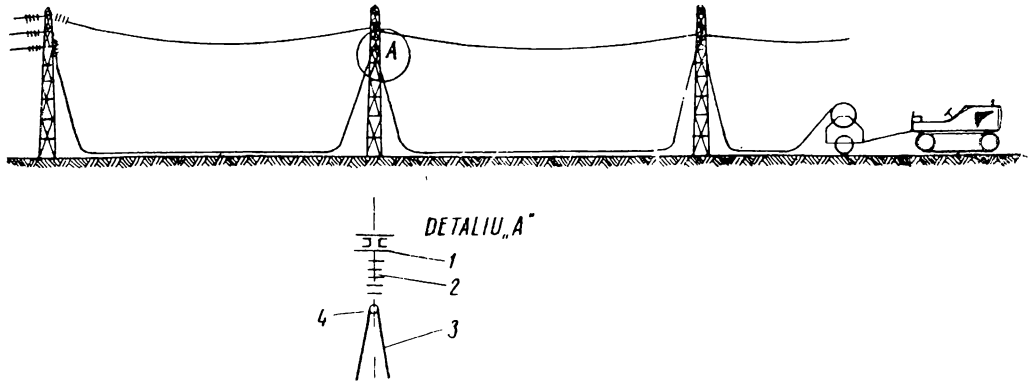


Fig. 9—17. Desfăşurarea conductorului prin purtarea tamburului :
1 — consolă; *2* — lanţ de izolatoare; *3* — conductor; *4* — rolă de aluminiu.

derulare, care este deplasat de-a lungul traseului prin tragere, de către un tractor (fig. 9—17). Conductorul se desfăşoară de pe tambur şi se aşază uşor pe pămînt, fără a fi tîrît.

După depăşirea fiecărui stîlp de susţinere cu 30—40 m, conductorul se ridică pe stîlp şi se aşază pe rola de susţinere. La traversări peste drumuri se iau măsuri pentru protecţia conductorului, prin acoperirea cu scînduri sau pămînt, sau se aşază oameni de pază pînă la ridicarea conductorului.

Această metodă nu poate fi folosită la traversări de linii electrice sau telefonice şi terenuri accidentate.

Întrebări recapitulative

1. Care este ordinea în care se desfăşoară conductoarele?
2. Cum se face desfăşurarea conductoarelor cu tambur fix?
3. Cum se face desfăşurarea conductoarelor cu tambur mobil?

ÎNNĂDIREA CONDUCTOARELOR ȘI ÎNTINDEREA LOR LA SĂGEATĂ

1. Înnădirea conductoarelor

La desfășurarea conductorului de pe tambur se constată starea acestuia; în cazul cînd prezintă defecte, porțiunea respectivă de conductor se taie și se execută o înnădire. De asemenea, dacă lungimea conductorului de pe tambur este mai mică decît lungimea panoului de întindere respectiv, conductorul trebuie să fie înnădit.

Înnădirea trebuie făcută astfel încît să asigure continuitatea electrică și mecanică a conductorului.

De asemenea, conductoarele trebuie înnădite între ele la stîlpii de întindere, unde prin cordonul sau puntea care se formează în acest scop se înnădesc capetele conductoarelor din cele două panouri vecine. Această înnădire, nefiind supusă la eforturi mecanice, trebuie să asigure numai legătura electrică a conductoarelor.

Înnădirea conductoarelor se face cu ajutorul clemelor de legătură și trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— sarcina de rupere a legăturii să fie de cel puțin 90 % din sarcina de rupere a conductorului;

— rezistența electrică a legăturii să nu fie mai mare decît a conductorului fără legătură;

— la trecerea curentului prin legătură, încălzirea clemei nu trebuie să depășească 40 °C peste temperatura mediului ambiant;

— suprafețele de contact ale clemei și ale conductorului trebuie să fie curate, fără urme de oxizi sau de alte metale care ar putea produce coroziuni.

2. Întinderea (tragerea) la săgeată a conductoarelor

Conductorul suspendat între doi stîlpi nu stă perfect întins; sub influența greutății sale conductorul are o „săgeată". Prin săgeata unui conductor se înțelege distanța pe verticală dintre dreapta care unește punctele de suspensie ale conductorului și tangenta la conductor paralelă cu această dreaptă (fig. 9—18).

Mărimea săgeții la o deschidere dată depinde de greutatea și de secțiunea conductorului. Cu cît conductorul este întins mai mult, cu atît săgeata este

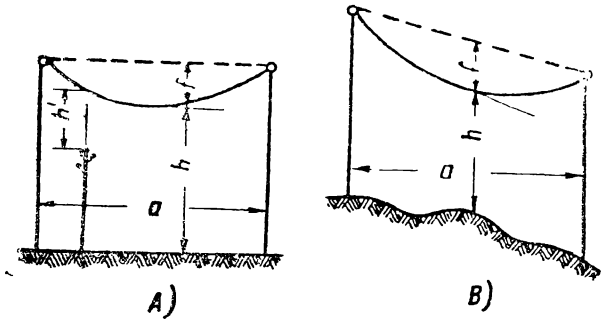


Fig. 9—18. Săgeata conductorului :
A — puncte de suspensie la același nivel; *B* — puncte de suspensie la înălțimi diferite; *a* — deschiderea; *f* — săgeata conductorului; *h* — distanța pînă la pămînt (gabaritul liniei); *h'* — distanța dintre conductor și linia electrică traversată.

mai mică și invers. Pentru aceeași forță de întindere a conductoarelor, săgeata va fi mai mare dacă stîlpii sînt mai îndepărtați și mai mică dacă stîlpii sînt apropiați.

Metalele dilatîndu-se la creșterea temperaturii și contractîndu-se atunci cînd temperatura scade, conductoarele metalice își modifică lungimea la variația temperaturii și, ca urmare, își modifică și săgeata.

Înălțimea stîlpilor este astfel aleasă, încît la temperatura cea mai ridicată în regiune (la noi +40 °C), deci cînd conductorul are lungimea cea mai mare și, ca urmare, săgeata cea mai mare, distanțele *h* pînă la suprafața terenului sau a apelor (gabaritul liniei) să fie mai mari decît cele prevăzute în norme.

Pentru acest motiv trebuie să se dea foarte multă atenție operației de întindere a conductoarelor. Forța cu care este întins conductorul, și deci săgeata, depind, după cum s-a arătat, de temperatură. Forța cu care trebuie întins conductorul la o anumită temperatură constantă poate să fie calculată sau poate fi luată din tabele.

În momentul tracțiunii, forța de întindere a conductorului se măsoară cu ajutorul unui dinamometru. Deoarece nu se dispune întotdeauna de dinamometre pentru măsurarea forței de întindere a conductorului, de cele mai multe ori săgeata conductorului se stabilește în funcție de distanța dintre stîlpi (deschiderea) și de temperatura măsurată în momentul întinderii conductorului.

Ca exemplu, în tabela 9—1 sînt indicate săgețile conductorului de aluminiu cu secțiunea de 35 mm², întins cu o tracțiune normală.

Tabela indică valorile în metri ale săgeții conductorului pentru deschideri (distanțe între stîlpi) de 10, 20, 30, 40, 50 și 60 m, la diferite temperaturi cuprinse între —30 și +40 °C.

Tabela 9—1

Săgeţile, în m, ale conductorului de aluminiu cu secţiunea de 35 mm² întins cu o traeţiune normală

Deschiderea, m	*Fără chiciură şi fără vînt*							
	−30°	−20°	−10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°
10	0,004	0,005	0,006	0,008	0,012	0,021	0,052	0,096
20	0,017	0,020	0,025	0,033	0,047	0,078	0,148	0,210
30	0,051	0,066	0,089	0,132	0,209	0,306	0,396	0,475
40	0,238	0,345	0,462	0,573	0,670	0,758	0,840	0,916
50	0,874	0,977	1,075	1,169	1,254	1,332	1,410	1,480
60	1,690	1,786	1,870	1,950	2,020	2,100	2,170	2,240

Se măsoară, aşa cum s-a arătat, temperatura aerului în momentul întinderii la săgeată a conductorului şi distanţa dintre stîlpi.

Dacă distanţa dintre stîlpi corespunde cu una dintre deschiderile cuprinse în tabelă, iar dacă şi temperatura măsurată figurează în tabelă, se citeşte cifra înscrisă la întretăierea coloanei orizontale corespunzătoare deschiderii, cu coloana verticală corespunzătoare temperaturii măsurate şi aceasta este săgeata (măsurată în metri) pe care trebuie să o aibă conductorul.

Astfel, de exemplu, la deschiderea de 50 m şi la temperatura măsurată de +10 °C săgeata este de 1,254 m.

Dacă însă deschiderea sau temperatura la montaj sau amîndouă nu figurează în tabelă, avînd valori intermediare între cele înscrise, se procedează ca în exemplul următor.

Exemplu. Să se determine săgeata unui conductor de aluminiu cu secţiunea de 35 mm², distanţa între stîlpi fiind de 53 m, iar temperatura măsurată la montaj de 17 °C.

Se determină din tabelă săgeţile la temperatura de 10 °C (imediat inferioară celei măsurate) la deschiderile de 50 m şi 60 m (imediat inferioară şi superioară distanţei de 53 m). Săgeţile respective sînt 1,254 m şi 2,020 m.

Prin regula de trei simplă se determină săgeata la 10 °C pentru deschiderea de 53 m, care va fi :

$$1{,}254 + \frac{3}{10}(2{,}02 - 1{,}254) = 1{,}484 \text{ m}.$$

În acelaşi mod se determină săgeata la 20 °C pentru aceeaşi deschidere de 53 m, care este :

$$1{,}332 + \frac{3}{10}(2{,}1 - 1{,}332) = 1{,}562 \text{ m}.$$

Cunoscînd săgeţile pentru deschiderea de 53 m, pentru temperaturile de 10 şi 20 °C, printr-un calcul analog se determină şi săgeţile pentru temperatura măsurată de 17 °C :

$$1{,}484 \text{ m} + \frac{7}{10}(1{,}562 - 1{,}484) = 1{,}538 \text{ m}.$$

Asemenea tabele există pentru fiecare fel de conductor (aluminiu, cupru, oțel zincat, oțel-aluminiu etc.) și pentru fiecare secțiune de conductor.

Indiferent de modul de desfășurare a conductorului, întinderea la săgeată se face la fel. Tragerea la săgeată se face la sfîrșitul operației de desfășurare. În cazul desfășurării de pe tambur fix, tragerea se face de la stîlpul de întindere de la care s-a început desfășurarea, iar în cazul desfășurării de pe tambur mobil, tragerea se face de la stîlpul de întindere unde se termină desfășurarea.

De obicei, săgeata se determină numai într-una dintre deschiderile din mijlocul panoului; pentru panouri mari (distanțe mari între stîlpii de întindere), din cauza frecării în scripeții pe care se desfășoară conductorul, este necesar să se verifice săgeata în două deschideri diferite. Se alege o deschidere astfel încît stîlpii să fie la același nivel sau să aibă o denivelare cît mai mică.

Verificarea săgeții în deschiderea aleasă se face prin vizare directă. Pe fiecare dintre cei doi stîlpi între care se verifică săgeata se așază orizontal cîte o șipcă (fig. 9—19). Muncitorul se urcă pe unul dintre stîlpi, astfel încît ochiul să vină imediat deasupra marginii superioare a șipcii și privește marginea șipcii de pe stîlpul vecin. Întinderea conductorului se întrerupe în

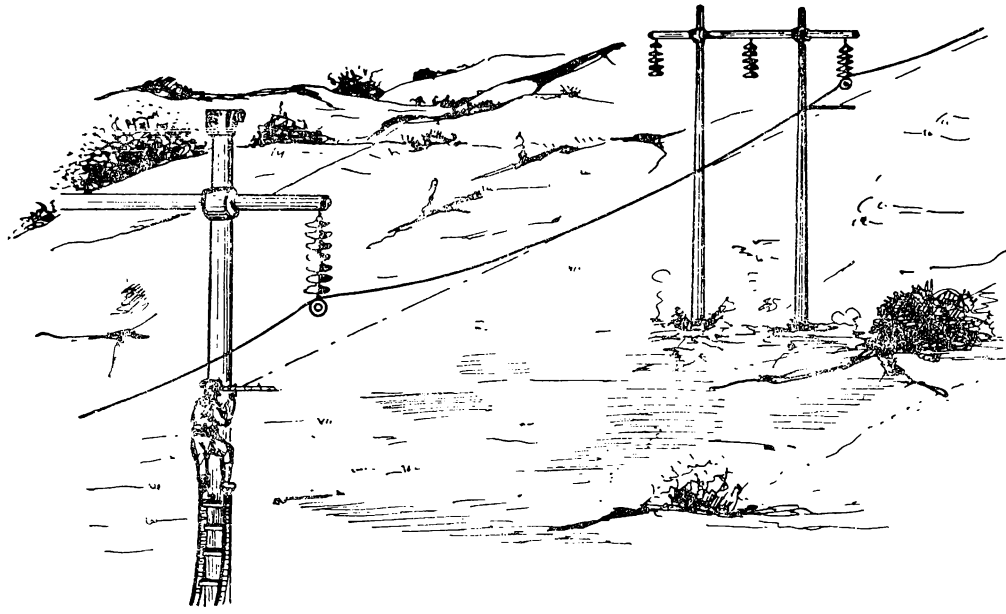


Fig. 9—19. Vizarea conductorului la săgeată.

momentul cînd punctul de jos al conductorului care se întinde intră în cîmpul de vedere al muncitorului, adică se află pe linia care unește marginile de sus ale celor două șipci.

Tragerea conductorului se face după una din metodele menționate în lecția precedentă.

Întrebări recapitulative

1. Cum se înnădesc conductoarele?
2. Ce condiții trebuie să îndeplinească o legătură prin cleme?
3. Ce este săgeata unui conductor?
4. Cum se face întinderea la săgeată a conductoarelor?

LEGAREA CONDUCTOARELOR DE IZOLATOARE

După felul izolatoarelor (rigide sau de suspensie) se folosesc mai multe metode de legare a conductoarelor.

Conductorul se fixează mai întîi pe unul dintre stîlpii de întindere, și anume:

— înainte de a începe desfășurarea conductorului, la stîlpul de la care începe desfășurarea, prin metoda cu tambur mobil;

— înainte de a începe tragerea la săgeată a conductorului la care s-a terminat desfășurarea, prin metoda cu tambur fix.

În cazul liniilor cu izolatoare de suspensie, pe conductor se montează o clemă de tracțiune, care se leagă de lanțul de izolatoare montat și împreună se ridică pe consolă, unde se fixează lanțul de izolatoare.

După tragerea la săgeată a conductorului, acesta este fixat și pe al doilea stîlp de întindere aflat la cealaltă extremitate a panoului. Pentru a ști unde trebuie montată clema de întindere, după controlul săgeții se marchează pe conductor, cu un creion chimic sau cu un inel de sîrmă, locul unde se fixează lanțul de izolatoare. Semnul făcut permite să se monteze clema de tracțiune acolo unde trebuie (cu o abatere de cel mult 1 cm) conductorul fiind coborît pe sol.

După întinderea la săgeată a conductorului și după fixarea lui la stîlpul de întindere unde s-a făcut tragerea, conductorul, rezemat pe role la fiecare stîlp de susținere, urmează să fie fixat la clemele de susținere și acestea la lanțurile de izolatoare.

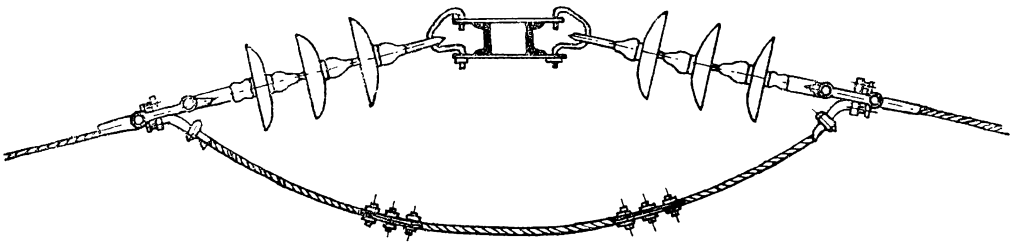


Fig. 9 — 20. Cordon de legătură la stîlpul de întindere.

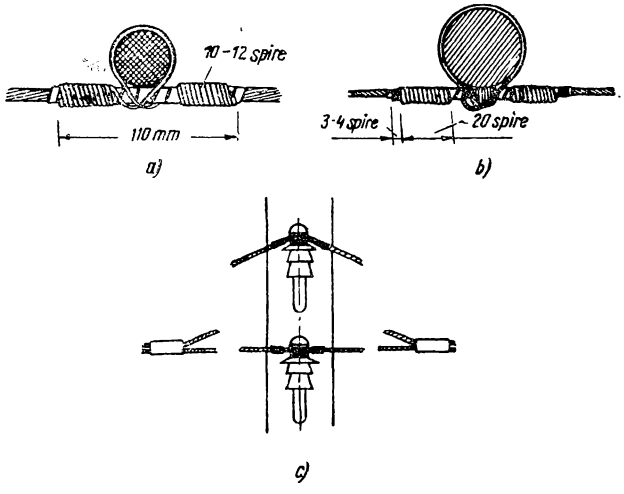


Fig. 9 — 21. Legarea conductoarelor de izolatoarele rigide:
a — legătură în cruce simplă; *b* — legătură în cruce întărită; *c* — legătură dublă pentru stîlpi de întindere.

Pe porțiunea care se montează în clemă, conductoarele de oțel și cele de aluminiu se ung cu vaselină neutră din punct de vedere chimic. După această operație conductoarele de aluminiu și cele de oțel-aluminiu se înfășoară strîns cu bandă de aluminiu moale de 10×1 mm sau de cupru, după felul conductorului (conductorul de oțel nu se bandajează). Conductorul bandajat se așază pe patul clemei și se strînge bine cu presa de strîngere și cu bridele de strîngere.

Legătura electrică între conductoarele a două panouri alăturate se realizează prin cordoane de legătură (fig. 9—20), cu ajutorul a cîte două cleme de legătură electrică cu plăci de contact.

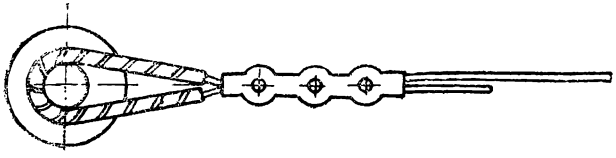


Fig. 9 — 22. Legătură în ochi cu clemă.

La liniile cu izolatoare rigide, prinderea conductoarelor se face cu legături în cruce la stîlpii de susținere și cu ochi pentru stîlpii de întindere (fig. 9 — 21).

Legarea conductoarelor la stîlpii de susținere se face astfel încît conductorul să se afle totdeauna între izolatoare și stîlp. Prinderea conductorului la izolatoarele stîlpilor de întindere se execută prin legătură în ochi cu clemă care poate fi simplă (fără siguranță) ca cea din figura 9—22, sau dublă (cu siguranță).

Întrebări recapitulative

1. Cum se face legarea conductoarelor la izolatoarele de întindere?
2. Cum se face legarea conductoarelor la stîlpii cu izolatoare suport (rigide)?

Capitolul X

ÎNTREȚINEREA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

CONTROLUL LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Pentru a cunoaște cît mai exact starea liniilor aeriene, este necesar să se facă controale atît periodice, cît și speciale, cu care ocazie să se cerceteze amănunțit toate elementele liniei.

După felul lor, controalele se împart în : controale periodice, controale speciale, controale neprevăzute și inspecții.

1. Controalele periodice

Controalele periodice se fac atît ziua cît și noaptea, la intervale prescrise de normele de exploatare ; ele au ca scop :

— ziua — observarea amănunțită a stării traseului, a tuturor elementelor liniei și a zonei de siguranță a liniei ;

— noaptea — scoaterea în evidență a defectelor care pot produce anumite efecte luminoase : defecte la cleme, starea izolației, contacte slabe etc.

Controalele liniilor se execută de către echipe de electricieni calificați, cunoscători ai traseului, în baza unor grafice de lucru care trebuie respectate riguros.

Electricienii care fac controlul trebuie să se oprească la fiecare stîlp în parte și să-l examineze amănunțit; distanța dintre stîlpi trebuie parcursă astfel, încît conductoarele să fie observate pe toată lungimea lor. De aceea, controalele se fac pe jos și fără grabă. În timpul iernii se pot folosi schiurile. Pentru observarea izolatoarelor sau a altor elemente ale liniei care nu pot fi văzute suficient de clar cu ochiul liber, se va folosi un binoclu.

Controalele periodice de zi se fac cel puțin o dată la 15 zile pentru linii de la 20 la 110 kV, o dată pe lună pentru liniile de la 1 la 20 kV și cel puțin de două ori pe an la liniile de joasă tensiune, în afară de liniile de iluminat public, unde controalele trebuie făcute la intervale de cel puțin două luni.

Controalele de noapte se fac pentru liniile de înaltă tensiune la interval de cel puțin 3 luni, iar pentru liniile de joasă tensiune la 6 luni, în afară de liniile de iluminat public, care trebuie controlate cel puțin o dată pe lună. Ele se fac în scopul descoperirii unor defecte care ziua pot scăpa controlului (efecte de conturnare a izolatoarelor, flamă electrică în locurile de înnădire a conductoarelor etc.).

2. Controalele speciale

Controalele speciale se fac asupra întregului traseu al liniei sau numai asupra unei porțiuni din traseu, atunci cînd linia a suferit de pe urma chiciurii, a furtunii, a inundației, a deplasării de teren sau a altor cauze.

3. Controalele neprevăzute

Aceste controale se execută după fiecare întrerupere a liniei, urmărindu-se stabilirea cauzei întreruperii și locul defectului.

În cazul cînd linia este întreruptă, este necesar să se facă controlul cu cea mai mare rapiditate, pentru ca să se găsească locul defect, să se înlăture defectul și să se repună în funcțiune linia. Pentru aceasta, fiecare centru de rețele este organizat astfel, încît la orice oră din zi sau din noapte s-ar produce defectul, el să aibă la dispoziție oameni pregătiți pe care să-i poată trimite imediat pentru controlul și repararea liniei. De asemenea, trebuie să existe mijloace de transport care să poată fi folosite imediat și mijloace rapide de comunicație.

În cazul cînd este vorba de o linie mai lungă, aceasta se împarte în mai multe porțiuni și fiecărei echipe de control îi revine o anumită porțiune.

Imediat după ce s-a descoperit locul defectului, se iau măsuri de reparare : înlocuirea izolatorului spart, înnădirea conductorului rupt etc.

Chiar dacă defectul a fost trecător și linia a fost repusă sub tensiune, este necesar să se facă un control imediat, pentru a se descoperi cauza care a produs defectul și pentru a se evita pe viitor defecte asemănătoare.

4. Inspecții

În afară de controalele arătate mai sus, care se fac de către electricieni, șefi de echipă sau maiștri, personalul de conducere al sectorului de rețele, ingineri sau tehnicieni, controlează cel puțin o dată pe an starea tehnică a liniei, pentru a constata : cum se fac controalele de către personalul din subordine, anumite situații speciale și modul cum s-au făcut reparațiile.

Întrebări recapitulative

1. De cîte feluri sînt controalele care se efectuează asupra liniilor electrice ?
2. Ce sînt controalele neprevăzute și în ce scop se efectuează ele ?

ÎNCERCĂRILE PREVENTIVE ALE LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Controalele vizuale pot scoate la iveală mare parte din defecțiunile care apar la liniile electrice aeriene. Ele însă trebuie să fie completate de o serie de măsurări și încercări, care dau posibilitatea să se scoată la iveală și deci să se înlăture unele defecțiuni ascunse observației libere. Dintre aceste măsurări și încercări se vor arăta cele mai importante.

1. Măsurarea putrezirii stîlpilor de lemn

Cu timpul, stîlpii de lemn putrezesc și, ca urmare, rezistența lor mecanică scade, prin faptul că nu se mai poate conta decît pe o parte a secțiunii stîlpului. Putrezirea poate avea loc fie la suprafața stîlpului, fie în interior. Putrezirea de la suprafață se poate constata mai ușor, în schimb cea din interior este mai greu de constatat și de măsurat.

Stabilirea gradului de putrezire se poate face prin mai multe procedee, și anume :

— verificarea exterioară a stîlpului pe toată lungimea sa, stabilindu-se astfel locul unde lemnul este putred sau crăpăturile unde ar putea avea loc o putrezire interioară ;

— verificarea interioară a stîlpului prin ciocănire, cu un ciocan de 0,4 kg ; un sunet clar indică un lemn sănătos, iar un sunet înăbușit indică existența unei putreziri ;

— măsurarea adîncimii de putrezire cu ajutorul unei dălți fără vîrf, care se împinge în stîlp perpendicular pe axa lui ; în porțiunea putredă dalta pătrunde cu ușurință, în schimb în porțiunea sănătoasă ea întîmpină rezistență ;

— determinarea adîncimii de putrezire cu ajutorul burghiului ; se poate folosi un burghiu simplu, la care se urmărește cantitatea de lemn putred care este scoasă de burghiu ;

— determinarea adîncimii de putrezire cu aparate speciale ; există burghie speciale care permit scoaterea unei carote de lemn din stîlp, altele care măsoară pătrunderea unei tije de oțel în lemnul stîlpului.

Dacă se constată putreziri adînci, care fac ca secțiunea sănătoasă rămasă să fie mai mică decît cea prevăzută inițial în calcul, stîlpul sau partea putredă a stîlpului trebuie să se înlocuiască.

2. Încercarea izolatoarelor

Înainte de montarea lor pe linie, izolatoarele sînt verificate fie în laboratorul fabricii constructoare, fie în cel al întreprinderii de montaj.

În timpul exploatării însă, izolatoarele își pot pierde calitățile lor. Cu ocazia controalelor se stabilește care sînt izolatoarele slăbite și se iau măsuri de înlocuire, pentru ca în acest mod să se preîntîmpine defectele care ar provoca întreruperea liniei.

La liniile de joasă tensiune și la cele de înaltă tensiune cu izolatoare rigide se face numai controlul vizual cu ajutorul unui binoclu sau prin urcarea pe stîlpi, cînd linia este scoasă de sub tensiune.

La liniile de înaltă tensiune cu lanțuri de izolatoare este necesar să se facă măsurări cu ajutorul prăjinilor, cu dispozitive de străpungere.

În astfel de cazuri trebuie să se țină seama de repartizarea tensiunii între elementele lanțului de izolatoare. Astfel, între izolatoarele unui lanț, tensiunea nu se repartizează uniform. Cea mai mare tensiune o suportă izolatorul dinspre conductor, apoi cel dinspre traversă, iar cea mai mică tensiune

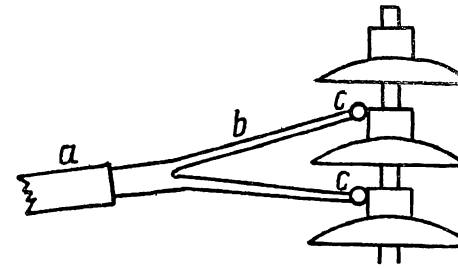


Fig. 10—1. Capul „tijei bîzîitoare".

se repartizează pe izolatoarele din mijlocul lanțului. Dacă în lanț există un izolator străpuns, tensiunea repartizată asupra lui va fi egală cu zero și tensiunea aplicată lanțului se va repartiza asupra celorlalte elemente.

Cel mai simplu sistem de verificare a izolatoarelor se face cu ajutorul „tijei bîzîitoare" (fig. 10—1). Aceasta este o tijă izolantă lungă *a*, de obicei din bachelită, care are fixată pe ea o furcă metalică *b*, terminată la capete cu două sfere *c*. Pentru verificarea unui izolator se ating cele două sfere, una de capa elementului izolatorului care se încearcă și cealaltă de capa izolatorului de sub el. Dacă izolatorul este bun și deci între cele două cape există o tensiune electrică, la atingerea sau depărtarea unei sfere de capa izolatorului se produce o scînteie însoțită de o bîzîitură. Dacă izolatorul este defect, nu se produce scînteia și bîzîitura sau acestea sînt foarte slabe.

Există tije de măsurare mai perfecționate, care permit măsurarea exactă a tensiunii care se repartizează pe fiecare izolator al lanțului.

Întrebări recapitulative

1. Cum se măsoară adîncimea de putrezire a unui stîlp?
2. Cum se verifică starea izolatoarelor?

VERIFICAREA CLEMELOR DE LEGĂTURĂ ȘI MĂSURAREA REZISTENȚEI PRIZELOR DE PĂMÎNT

1. Verificarea clemelor de legătură

La controalele liniilor aeriene se verifică vizual, atît ziua cît și noaptea starea clemelor de legătură. Există însă defecte ale clemelor care nu sînt vizibile cu ochiul liber, însă care trebuie identificate, pentru a preîntîmpina defecte care ar produce întreruperea liniei.

Măsurarea se poate face cu linia întreruptă sau cu linia sub tensiune.

În cazul liniei întrerupte se foloseşte schema şi dispozitivul din figura 10—2. O baterie de acumulatoare produce un curent continuu măsurat de ampermetrul A. Căderea de tensiune din clemă este măsurată de milivoltmetrul V. Contactele pentru sursa de curent se prind direct de conductoare, prin două cîrlige.

Milivoltmetrul se conectează cu ajutorul unei tije uşoare de bambus. Pentru verificare se măsoară cu milivoltmetrul căderea de tensiune în clemă şi într-o bucată de conductor alăturată şi de aceeaşi lungime (mutînd tija).

Aplicînd legea lui Ohm rezultă :

$$U_{clemă} = IR_{clemă}, \tag{10.1}$$

$$U_{cond} = IR_{cond}, \tag{10.2}$$

$$\frac{U_{clemă}}{U_{cond}} = \frac{R_{clemă}}{R_{cond}}, \tag{10.3}$$

$$R_{clemă} = R_{cond}\frac{U_{clemă}}{U_{cond}}. \tag{10.4}$$

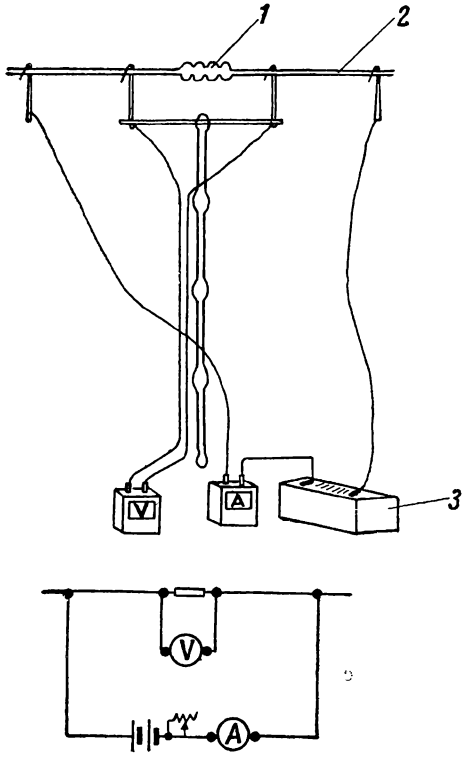
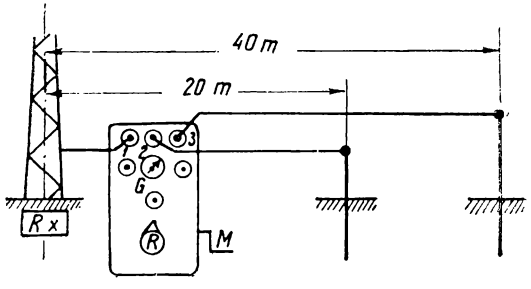


Fig. 10—2. Măsurarea rezistenţei clemelor de legătură : *1* — clemă ; *2* — conductor ; *3* — bateria de acumulatoare.

Fig. 10—3. Măsurarea rezistenţei prizelor de pămînt.



Dacă rezistența clemei este mai mare decît dublul rezistenței conductorului ea trebuie înlocuită.

La măsurarea rezistenței clemei sub tensiune principiul de măsurare este același. Nu este însă nevoie de o sursă de curent, deoarece se folosește curentul care trece prin linie, iar voltmetrul se montează la capătul unei tije izolante, care are montate pe ea și cîrligele de legătură la linie.

2. Măsurarea rezistenței prizelor de pămînt

Priza de punere la pămînt a unei instalații nu trebuie să depășească o anumită rezistență. Astfel, pentru stîlpii liniilor aeriene de înaltă tensiune, limita recomandabilă este maximum 10 Ω.

În exploatare trebuie să existe posibilitatea de a verifica rezistența prizelor de pămînt, căci o depășire a valorilor acestor rezistențe poate duce la defecțiuni ale liniei sau chiar la accidente.

Una dintre metodele de măsurare a rezistenței prizelor de pămînt este aceea care se face cu ajutorul punții cu inductor, reprezentată în figura 10—3. Pentru aceasta, la distanță de 20—25 m de stîlpul a cărui rezistență R_x a prizei trebuie măsurată, se instalează o priză auxiliară de pămînt, iar la o distanță dublă (40—50 m) o a doua priză. Aceste prize se construiesc din țevi sau bare de oțel. Legăturile la bornele aparatului se fac ca în figura 10—3. Pentru măsurarea rezistenței se învîrtește de manivela M a aparatului cu o turație constantă (circa două rotații pe secundă) și, în același timp, se rotește indicatorul de rezistență R, pînă cînd acul galvanometrului G ajunge la zero. Se întrerupe apoi rotirea indicatorului și se citește la indicator valoarea rezistenței R.

De obicei, pentru a nu comite erori mari se fac trei măsurări și se consideră media lor.

Întrebări recapitulative

1. Cum se verifică rezistența electrică a unei cleme de legătură la o linie întreruptă?
2. Dar la o linie sub tensiune?
3. Cum se măsoară rezistența unei prize de pămînt?

REPARAREA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Deoarece o linie electrică trebuie să funcţioneze în cele mai bune condiţii, este necesar ca orice defect descoperit cu ocazia reviziilor, controalelor şi verificărilor să fie înlăturat în cel mai scurt timp.

După natura lor, lucrările de reparaţii se împart în două categorii : reparaţii curente şi reparaţii capitale.

Reparaţiile curente sînt reparaţii de mică amploare, care au rezultat în urma controalelor, cum ar fi : înlocuirea unui izolator, tăierea crengilor, strîngerea bandajelor de sîrmă sau a şuruburilor, îndreptarea consolelor, a vîrfarelor sau a suporţilor de izolatoare, înlocuirea becurilor la iluminatul public etc.

Unele dintre aceste reparaţii curente se pot face chiar în timpul reviziei, de către echipa care face această revizie.

Reparaţiile capitale sînt acelea care au o amploare mai mare, parte din ele rezultînd în urma controalelor periodice, iar o altă parte în urma măsurărilor de control şi verificare. Astfel sînt : înlocuirea adaosurilor la stîlpi sau înlocuirea totală a stîlpilor de lemn, vopsirea stîlpilor metalici, lărgirea unui culoar de pădure, mutarea traseului unei linii din cauza alunecărilor de teren, înlocuirea conductoarelor liniei, reglarea săgeţii conductoarelor etc.

Reparaţiile capitale se fac o dată la cîţiva ani.

După felul execuţiei, lucrările de reparaţii, atît cele capitale, cît şi cele curente, se împart în două categorii : reparaţii care se fac cu linia sub tensiune şi reparaţii care se fac cu linia scoasă de sub tensiune.

Lucrările la care linia este scoasă de sub tensiune trebuie organizate astfel, încît reparaţia să dureze un timp cît mai scurt, pentru ca abonaţilor alimentaţi de la această linie să le fie întreruptă furnizarea de energie cît mai puţin timp.

La lucrările la care linia nu se scoate de sub tensiune nu se pune această problemă. În schimb, execuţia lor trebuie făcută cu cea mai mare atenţie, pentru că multe din aceste lucrări se fac în apropierea conductoarelor sub tensiune şi o neglijenţă cît de mică ar putea duce uşor la accidente grave.

În afară de aceste observaţii, la majoritatea lucrărilor de reparaţii se folosesc aceleaşi metode ca şi la lucrările de construcţie a liniilor, descrise anterior.

Ele trebuie executate conform unui program, care trebuie respectat riguros, deoarece întîrzierea poate duce la deranjamente grave. Astfel, dacă nu

se înlocuiesc la timp stîlpii putrezi, aceştia pot cădea şi pot întrerupe astfel funcţionarea liniei pe un timp îndelungat.

În cele ce urmează se vor arăta cîteva dintre lucrările de reparaţii mai frecvente :

1. Înlocuirea stîlpilor simpli

Se ancorează stîlpul existent şi alături de acesta, pe axul liniei, de o parte sau de alta, se sapă groapa pentru noul stîlp. Se ridică stîlpul nou, astfel ca acesta să fie tot timpul în planul vertical format de axul liniei. În acest mod, ridicarea stîlpului nu este împiedicată de conductoare, ci se face printre ele. Dacă vremea este uscată şi se lucrează cu atenţie, la joasă tensiune, operaţia se poate face cu linia sub tensiune. În acest caz, în momentul cînd linia se întrerupe, este suficient să se desfacă legăturile conductoarelor de la izolatoare, să se mute izolatoarele cu suporţi cu tot pe noul stîlp şi să se lege din nou conductoarele de izolatoare. Urmează, în sfîrşit, coborîrea stîlpului putred şi operaţia de înlocuire a acestuia este terminată.

2. Înlocuirea adaosurilor la stîlpii de lemn

Partea cea mai expusă la putrezire a unui stîlp este cea de la suprafaţa solului. De aceea, adaosurile stîlpilor putrezesc înaintea acestora şi, în acest caz, este necesară înlocuirea lor. Procedeul este următorul : se ancorează stîlpul şi apoi se sapă groapa în partea opusă adaosului existent. Se introduce în pămînt noul adaos, se astupă groapa, se execută bandajul de fixare al lui de stîlp (matisarea) şi apoi se scoate adaosul vechi.

În mod asemănător se poate proceda şi cînd un stîlp simplu, fără adaos, a putrezit şi partea lui inferioară se înlocuieşte cu un adaos.

3. Vopsirea stîlpilor metalici

Vopsirea stîlpilor metalici şi a părţilor metalice ale stîlpilor de lemn sau de beton se face la circa 5—7 ani.

Înainte de vopsire, stîlpii (respectiv părţile metalice) trebuie bine curăţaţi de rugină şi de murdărie cu o perie metalică. După aceea vor fi curăţaţi cu o perie de păr sau cu o cîrpă.

Părţile stîlpului unde nu există pericol de atingere a conductoarelor se vopsesc cu linia sub tensiune. Este însă necesar un instructaj special al vopsitorilor, pentru ca aceştia să nu se apropie la distanţe prea mici de conductoare. Porţiunile de stîlp unde există pericol de electrocutare se vor vopsi numai în timp ce linia este scoasă de sub tensiune.

4. Repararea părţilor superioare ale stîlpilor

Acolo unde există pericol de atingere sau apropiere prea mare de conductoare, lucrările se execută numai atunci cînd linia este scoasă de sub tensiune. În această categorie de lucrări intră : înlocuirea izolatoarelor sau a armăturilor, înnădirea conductoarelor, fixarea lor la săgeată, înlocuirea sau îndreptarea consolelor, înlocuirea vîrfarilor etc.

Întrebări recapitulative

1. Cum se face înlocuirea stîlpilor simpli ?
2. Cum se execută înlocuirea adaosurilor la stîlpii de lemn ?
3. În ce condiţii se execută vopsirea şi repararea părţilor superioare ale stîlpilor ?

Capitolul XI

EXPLOATAREA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

FUNCŢIONAREA LINIILOR. RECEPŢIA ŞI PUNEREA ÎN FUNCŢIUNE A INSTALAŢIILOR NOI

1. Funcţionarea liniilor

În majoritatea cazurilor, liniile de transport de energie electrică alimentează consumatori la care întreruperea furnizării de energie electrică provoacă neajunsuri mari. Într-o mină, întreruperea curentului poate provoca inun-

darea minei sau alte accidente grave ; la o rafinărie de petrol, întreruperea curentului electric în anumite sectoare poate provoca explozii grave. Pentru un atelier, oprirea curentului electric înseamnă încetarea lucrului și deci pierderi în producție ; într-un spital, stingerea luminii în timpul unei operații poate provoca moartea bolnavului ; întreruperea curentului la tramvaie, într-un oraș mare, dezorganizează transporturile în acel oraș.

Întrucît, în general, liniile de transport de energie electrică alimentează consumatori la care întreruperea alimentării cu energie electrică provoacă tot felul de neajunsuri, este foarte important ca ele să funcționeze continuu sau întreruperile accidentale care au loc să fie cît mai rare și de cît mai scurtă durată.

Liniile aeriene, deși au o construcție destul de simplă, funcționînd în aer liber sînt expuse totuși la diferite fenomene atmosferice : vînt, ploaie, descărcări electrice atmosferice, temperatură variabilă, chiciură, inundații etc., care pot provoca defectarea liniilor aeriene. Alte cauze de defecte pot fi : fumul, anumite gaze sau vapori emanați de unele fabrici, prin depunerile de particule bune conducătoare de electricitate pe izolatoare sau prin coroziunea chimică pe care o provoacă, atingerile provocate de păsări sau alte animale, căderea unui copac pe linie, ruperea conductoarelor sau a stîlpilor etc.

Din aceste motive, exploatarea liniei sau deservirea ei trebuie făcută în așa fel, încît să prevină, pe cît posibil, ivirea defecțiunilor, iar în cazurile cînd acestea n-au putut fi evitate, să fie remediate în timpul cel mai scurt.

În afară de problema funcționării continue a liniilor electrice, se mai ridică și problema calității energiei furnizate. Astfel, energia electrică primită de consumator trebuie să aibă tensiunea și frecvența prescrisă. Nerealizarea acestor condiții duce la o funcționare defectuoasă a receptoarelor electrice.

În exploatare trebuie să se țină seama și de problemele economice. Se știe că în orice rețea și în orice conductor au loc pierderi de energie prin efectul Joule-Lenz, care duc la încălzirea inutilă a conductoarelor. Dacă aceste pierderi sînt prea mari, costul energiei electrice crește, ceea ce nu este de loc de dorit (mai departe se va vedea cum se poate proceda pentru reducerea pierderilor de energie electrică în rețele).

Tot o problemă economică este și aceea a organizării exploatării liniilor cu cheltuieli cît mai mici, atît de manoperă cît și de materiale. Reparațiile care se fac liniilor trebuie să fie cît mai ieftine, dar și de bună calitate, căci o reparație făcută greșit duce la defectarea imediată a liniei și deci la noi pierderi și cheltuieli inutile.

2. Recepția și punerea în funcțiune a instalațiilor noi

Înainte de punerea în funcțiune, orice linie de transport de energie electrică este verificată de către o comisie de recepție. Rolul verificării este acela de a controla dacă linia a fost executată în bune condiții și de a sesiza eventualele lipsuri sau defecte existente.

Comisia de recepție, formată din delegați din partea întreprinderii care a construit linia și delegați din partea întreprinderii care preia linia pentru exploatare, întocmește, după terminarea tuturor verificărilor, un proces-verbal, în care menționează defectele constatate și fixează termenele în care acestea vor fi înlăturate.

După ce defectele au fost remediate se face încercarea liniei prin punerea ei sub tensiune și numai după aceasta se trece la darea ei în exploatare.

La recepție constructorul trebuie să prezinte comisiei ducomentele pe care le predă unității de exploatare : inventarul lucrării, documentația cu toate modificările și completările survenite pe parcursul lucrării, buletinele de încercări ale aparatelor, buletinele de măsurări efectuate etc.

Întrebări recapitulative

1. Ce efecte nedorite ar putea provoca întreruperea alimentării cu energie electrică a diferite sectoare economice ?
2. Ce probleme trebuie avute în vedere la recepția unei linii electrice ?

CAUZELE ÎNTRERUPERILOR ÎN ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ ȘI CLASIFICAREA LOR

S-au enumerat mai sus cîteva din cauzele care produc întreruperi în funcționarea unei linii aeriene. În cele ce urmează se vor arăta detaliat cauzele principalelor întreruperi și se va face o clasificare a lor.

1. Întreruperi cauzate de forță majoră

Multe întreruperi sînt produse de forțele naturii. Astfel, o inundație cu caracter neprevăzut sau o deplasare de teren pot provoca defectarea liniei.

Cauzele naturale care provoacă mai des întreruperi pe liniile aeriene sînt

furtunile și descărcările atmosferice. În general, liniile electrice aeriene pot suporta intensități ale vîntului destul de mari. Sînt însă cazuri cînd vîntul depășește viteza de calcul și atunci poate avea loc ruperea sau înclinarea stîlpilor, ruperea conductoarelor atingerea lor provocînd scurtcircuite.

Uneori însă, deși viteza vîntului este mai mică decît cea prevăzută în calcul, se produc totuși deranjamente ale liniilor. Aceasta se întîmplă în cazul cînd stîlpii liniei sînt putrezi, cînd conductoarele multifilare au unele fire rupte, și, în general, cînd linia are anumite puncte slabe.

Supratensiunile atmosferice constituie încă o cauză a deranjamentului în linii.

Electricitatea atmosferică se manifestă asupra liniilor electrice aeriene în două moduri : prin lovituri directe (trăznete pe linie) și prin supratensiuni produse de descărcările din apropierea liniei.

Supratensiunile produse de descărcările din apropierea liniei au valori între 100—150 kV. Pentru liniile cu tensiuni de 110—220 kV sau mai mari, aceste supratensiuni nu prezintă un pericol prea mare, întrucît izolatoarele lor pot rezista la aceste tensiuni. Ele prezintă însă un pericol mai mare pentru liniile de 6—35 kV, la care izolatoarele pot fi distruse. Același lucru se întîmplă și la liniile de joasă tensiune, însă de multe ori aceste rețele sînt protejate împotriva supratensiunilor de construcțiile învecinate, avînd în vedere că ele sînt construite în apropierea caselor, a fabricilor etc.

Loviturile directe sînt și mai periculoase și pot ajunge la valori de 1 000 kV sau chiar mai mult. Ele pot provoca aprinderea sau despicarea stîlpilor de lemn și spargerea sau conturnarea izolatoarelor. În multe cazuri, supratensiunile atmosferice provoacă declanșarea întrerupătoarelor de pe plecările liniilor. S-a constatat că, de cele mai multe ori, defectele produse sînt trecătoare și repunerea liniei în funcțiune se poate face imediat.

Pentru ca întreruperile liniilor să fie de cît mai scurtă durată, s-au construit dispozitive de reanclanșare automată a liniilor.

Un alt fenomen care poate provoca defectarea liniilor aeriene este formarea de chiciură (sau promoroacă). Chiciura se depune pe conductoare la temperaturi între 0 și —5 °C, atunci cînd atmosfera este umedă și bate un vînt nu prea puternic.

În calcule, după cum se va vedea mai tîrziu, se ține seama de acțiunea stratului de chiciură și de zăpadă care se depune pe conductoare. Uneori se întîmplă ca greutatea stratului de chiciură să fie mai mare decît valoarea calculată și atunci să se producă ruperea conductoarelor sau chiar a stîlpilor. Același lucru se întîmplă și în cazul cînd stratul de chiciură nu a depășit pe cel calculat, dar conductoarele sau stîlpii prezintă puncte slabe, care în acest caz cedează.

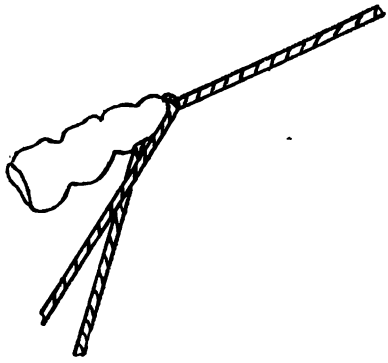


Fig. 11—1. Tăierea chiciurii cu ajutorul unei funii metalice.

Fig. 11—2. Tijă izolantă pentru îndepărtarea chiciurii.

Pentru a preveni defecțiunile, atunci cînd atmosfera este favorabilă depunerilor de chiciură, trebuie observate punctele cele mai periculoase pentru a cunoaște din timp situația de pe teren. Există și aparate avertizoare de chiciură, care se montează pe linie în punctele unde s-au observat în trecut depuneri mai mari. Se iau măsuri și pentru înlăturarea chiciurii care se poate face prin topirea ei cu ajutorul curentului electric. Pentru aceasta, se scoate linia de sub tensiune și se desface de la legăturile din stații la ambele capete. La unul din capete, conductoarele se leagă în scurtcircuit, iar la celălalt capăt se alimentează linia cu o tensiune mai mică decît cea nominală și calculată astfel, încît în conductoare să se producă un curent destul de mare, pentru ca încălzirea produsă de acesta să topească gheața de pe conductoare.

Există și metode mecanice de înlăturare a chiciurii. Astfel, cînd linia este scoasă de sub tensiune, chiciura se îndepărtează prin baterea ei cu ajutorul unor prăjini sau prin frecarea cu ajutorul unui cablu metalic (fig. 11—1).

Cînd linia este sub tensiune, chiciura se poate îndepărta cu o tijă izolantă prevăzută la capăt cu un cîrlig dublu (fig. 11—2).

2. Întreruperi din vina constructorului și a materialului

Multe întreruperi, în special în primele luni de funcționare a liniei, au loc din cauza deficiențelor de construcție, neobservate cu ocazia recepției.

Astfel, strîngerea insuficientă a buloanelor de la stîlpi poate provoca căderea acestora; montarea greșită a clemelor de înnădire poate provoca

ruperea conductoarelor; forțarea izolatoarelor rigide la montarea lor pe suporții curbi sau drepți duce la fisurarea și apoi la străpungerea lor etc.

Defectări ale liniei au loc și din cauza materialului necorespunzător. Astfel un conductor la care firele componente nu sînt sudate corect se rupe la prima solicitare mai mare : un izolator de calitate inferioară se defectează la prima supratensiune apărută pe linie etc.

3. Întreruperi din vina personalului

Multe întreruperi de pe liniile aeriene ar putea fi înlăturate dacă exploatarea și întreținerea liniilor s-ar face întotdeauna corect.

Astfel, unele întreruperi se produc din vina personalului de exploatare, de exemplu la executarea unei manevre greșite.

Alte întreruperi se produc din vina personalului de întreținere sau reparație, cînd întreținerea sau reparațiile nu s-au făcut în bune condiții.

În sfîrșit, pot avea loc întreruperi atunci cînd nu s-au programat la timp anumite lucrări de reparație sau nu s-a prevăzut înlocuirea anumitor piese sau aparate care nu mai corespundeau.

4. Întreruperi din alte cauze

O serie de întreruperi au loc din cauza unor persoane străine. Astfel, un camion care lovește un stîlp, un copil care aruncă o sîrmă pe linia electrică sau sparge izolatoarele cu pietre, toate acestea pot provoca întreruperi greu de prevăzut.

Păsările mai mari, în special ciorile și berzele, provoacă defectarea izolatoarelor și a conductoarelor prin scurtcircuitele pe care le pot provoca atunci cînd se așază pe liniile de 6—25 kV.

De asemenea, din neatenția unor lucrători care folosesc la alte lucrări din apropiere bare sau sîrme, se pot produce defecțiuni pe liniile electrice și chiar accidente de persoane.

Întrebări recapitulative

1. Ce defecte poate produce vîntul în cazul liniilor aeriene?
2. Cum se poate înlătura chiciura de pe conductoare?
3. Ce cauze de întrerupere se mai cunosc în afară de cele de forță majoră?

DEFECTE CARE APAR LA LINIILE ELECTRICE AERIENE — DEFECTAREA STÎLPILOR

Stîlpii liniilor electrice se află în aer liber şi, în consecinţă, ei sînt expuşi acţiunii a numeroase solicitări. Astfel, umezeala şi diferitele schimbări ale stării atmosferice slăbesc rezistenţa stîlpilor de lemn şi provoacă putrezirea lor; de asemenea, stîlpii metalici sînt supuşi ruginirii. Chiciura, trăsnetele, furtunile, incendiile etc. acţionează asupra stîlpilor putînd provoca defectarea lor.

În continuare se vor studia principalele defecte care se pot produce la stîlpi.

1. Putrezirea stîlpilor de lemn

Putrezirea stîlpilor de lemn este provocată de anumite ciuperci şi bacterii care trăiesc în lemnul umed pe care îl distrug lent. Cu cît umiditatea este mai mare cu atît putrezirea stîlpului are loc mai repede. Lemnul complet uscat putrezeşte într-un timp foarte îndelungat putînd rezista zeci de ani, pe cînd lemnul supus umezelii putrezeşte numai în cîţiva ani.

Nu întreg stîlpul putrezeşte în acelaşi timp. Unele părţi ale lui sînt supuse la o putrezire mai rapidă, iar altele la o putrezire mai lentă. Partea cea mai expusă la putrezire este cea din regiunea suprafeţei pămîntului, şi anume circa 50 cm deasupra şi 50 cm dedesubtul suprafeţei pămîntului. De asemenea, mai sînt expuse la putrezire vîrfurile stîlpilor şi locurile de îmbinare între diverse elemente ale stîlpilor.

Pentru ca îmbinările dintre elementele stîlpului să reziste cît mai bine, este necesar ca toate elementele stîlpului să fie mai întîi prelucrate şi apoi să fie impregnate.

2. Îndoirea şi ruperea stîlpilor

În cazuri de furtuni mari, care depăşesc valorile prevăzute, sau în cazurile cînd depunerea de chiciură este mai mare decît cea admisă, se poate produce îndoirea sau chiar ruperea stîlpilor. Mai des însă, astfel de cazuri se produc la stîlpii care nu corespund din diferite motive : stîlpi vechi de lemn care au putrezit, stîlpi montaţi necorespunzător, stîlpi calculaţi greşit etc. În cazuri de vînt sau de chiciură mai mare aceşti stîlpi cedează şi se rup.

Cele mai frecvente ruperi de stîlpi au loc atunci cînd se produc eforturi mari în conductoare, datorită chiciurii, şi acestea rupîndu-se produc asupra stîlpilor forţe dezechilibrate.

În cazuri de lovituri directe de trăsnet asupra stîlpilor de lemn se poate produce ruperea sau despicarea, atît a stîlpului, cît şi a traverselor.

Ruperea stîlpilor, în special a celor de pe marginea drumurilor, poate fi provocată şi de lovirea lor de către vehicule.

3. Aprinderea stîlpilor de lemn

Stîlpii de lemn se pot aprinde de la eventualele incendii care apar la construcţiile învecinate, la clăile de fîn şi de paie sau la pădurile din apropierea liniilor. De aceea, este necesară o deosebită atenţie pentru ca în apropierea traseului liniei să nu existe construcţii inflamabile, iar la trecerea liniilor prin păduri să se păstreze distanţele prescrise de la axa liniei pînă la arbori, atît din punctul de vedere al aprinderii stîlpilor, cît şi din punctul de vedere al pericolului de cădere a arborilor pe conductoare şi pe stîlpi.

Cazuri dese de aprindere a stîlpilor de lemn se produc din cauza căderii trăsnetului direct pe stîlpi.

4. Ruginirea stîlpilor metalici

S-a arătat mai înainte că la construirea lor, pentru a fi feriţi de ruginire, stîlpii metalici sînt vopsiţi cu un strat de vopsea de miniu de plumb şi unul sau două straturi de vopsea pe bază de ulei vegetal.

Cu ocazia reviziilor periodice ale liniei se observă şi starea vopselei, deoarece, după cîţiva ani, stîlpul începe să ruginească. În astfel de cazuri este necesar să se facă vopsirea din nou, fie a întregului stîlp, fie numai a părţilor expuse pericolului de ruginire.

5. Defectarea fundaţiilor stîlpilor

După cîţiva ani de la construirea lor, fundaţiile de beton ale stîlpilor încep să se deterioreze. Partea din fundaţie aflată deasupra pămîntului se crapă din cauza diferenţelor de temperatură şi a pătrunderii apei. Cînd începe

deteriorarea fundației, ea trebuie readusă în starea inițială, înainte ca distrugerea să ia proporții. Părțile aflate în pămînt ale fundației se defectează greu și nu au nevoie, în general, de o întreținere specială.

Întrebări recapitulative

1. Cum se produce putrezirea stîlpilor de lemn?
2. Ce alte defectări ale stîlpilor de lemn mai cunoașteți?
3. Care sînt defectele care apar la stîlpii metalici?
4. Ce defecte apar la fundații?

DEFECTAREA IZOLATOARELOR, ARMĂTURILOR ȘI CONDUCTOARELOR

1. Defectarea izolatoarelor și a armăturilor

Izolatoarele unei linii aeriene sînt supuse atît la eforturi electrice cît și la eforturi mecanice.

Dacă la un izolator este depășită tensiunea de străpungere el este expus distrugerii. În general, sînt distruse însă, prin străpungere izolatoarele care prezintă un defect oarecare : o crăpătură, o fisură, o neomogenitate a materialului etc. Izolatoarele de bună calitate, înainte de a fi distruse prin străpungere sînt conturnate prin exterior (fig. 11—3) și astfel izolatorul, în general, nu este distrus.

De multe ori are loc fisurarea sau crăparea unui izolator datorită eforturilor mecanice, fie la montare, fie în timpul exploatării și, din cauza acestei slăbiri, el este după aceea străpuns electric (fig. 11—4).

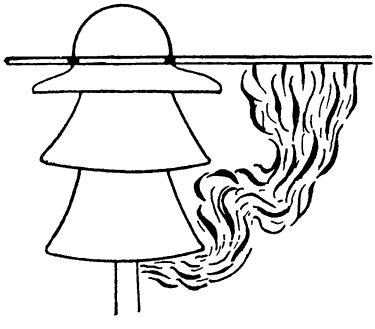


Fig. 11—3. Conturnarea unui izolator rigid.

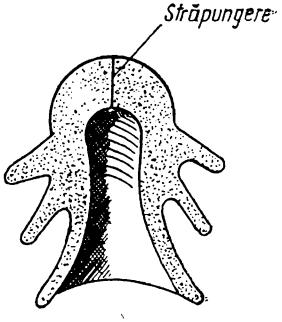


Fig. 11—4. Izolator rigid străpuns și despicat în două.

Conturnarea izolatoarelor se produce din diferite cauze : supratensiuni atmosferice, aruncarea pe izolatoare a unor obiecte, murdărirea izolatoarelor etc.

Arcul produs de conturnare nu deteriorează totdeauna izolatorul. De multe ori însă are loc o deteriorare a smalțului, spargerea unor părți a izolatorului și chiar distrugerea lui completă.

Armăturile și suporții izolatoarelor se deteriorează relativ rar. Sînt cazuri cînd anumite defecte interioare ale armăturilor neobservate la montare provoacă ruperea lor. Cînd sarcinile mecanice sînt prea mari se poate produce îndoirea suporților curbi sau drepți ai izolatoarelor.

2. Defectarea conductoarelor

Conductoarele liniilor aeriene sînt supuse în mod continuu unor eforturi de tracțiune, provocate de întinderea lor, de variațiile de temperatură, de greutatea proprie și a chiciurii depuse pe ele, de presiunea vîntului etc. În astfel de condiții este evident că defectările conductoarelor sînt de natură foarte variată. Aici se vor arăta cazurile cele mai des întîlnite în practică.

În primul rînd trebuie menționate defectele de fabricație și montaj. Astfel, anumite conductoare prezintă din fabrică rupturi sau suduri slabe ale firelor componente. Aceste defecte nu pot fi înlăturate atunci cînd ele aparțin unor fire interioare care nu pot fi observate. În cazul cînd aceste defecte se văd, este necesar să se monteze cleme de legătură.

Conductoarele se pot defecta sau rupe din diferite cauze. Astfel, copiii sau alte persoane pot arunca pe conductoare sîrme, frînghii, crengi etc. O altă cauză a defectării și ruperii conductoarelor sînt vibrațiile provocate de vînt. Aceste vibrații se produc, în general, cînd vîntul are o viteză uniformă, nu prea mare. În preajma conductoarelor se produc vîrtejuri (fig. 11—5), care dau acestora impulsuri și le fac să vibreze. Conductorul este mai solicitat, în aceste cazuri, în apropierea clemei de fixare pe izolatoare.

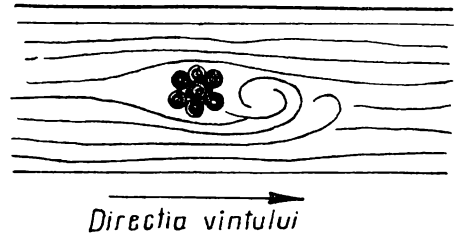


Fig. 11—5. Vîrtejuri de aer, care provoacă vibrația conductoarelor.

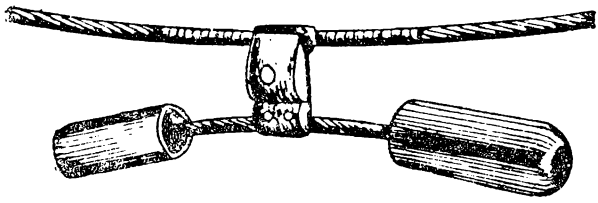


Fig. 11—6. Amortizor cu greutăți.

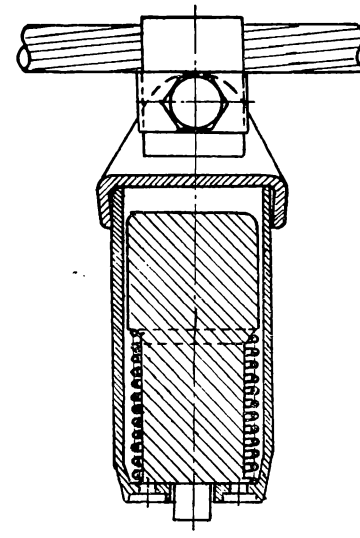


Fig. 11—7. Amortizor cu mișcare de translație.

Există multe dispozitive speciale de protejare a conductoarelor contra efectelor vibrațiilor. Cel mai obișnuit mijloc este bandajarea conductorului cu o bandă metalică cu grosimea de circa 1 mm, care se înfășoară pe acesta în punctul de fixare în clema de susținere. În acest mod conductorul este întărit și efectele vibrațiilor se reduc. La linii importante, în cazurile cînd pericolul de vibrații este mai mare se întrebuințează diferite dispozitive de amortizare a vibrațiilor, cum ar fi amortizorul cu greutăți (fig. 11—6), amortizorul cu resort (fig. 11—7) și altele. Cazuri frecvente de defectare a conductoarelor au loc în punctele de înnădire a acestora prin cleme. Dacă o clemă nu este perfect executată și contactul nu este bine făcut, cu timpul, prin pătrunderea umezelii și datorită încălzirii produse de curentul care trece prin conductor, contactul se slăbește treptat. Slăbindu-se contactul, rezistența se mărește și încălzirea provocată de trecerea curentului crește, făcînd ca deformarea clemei să se accentueze din ce în ce mai mult. Se ajunge la un moment dat cînd clema fie că se încălzește pînă la înroșire, fie că se defectează din punct de vedere mecanic și în cele din urmă se rupe.

Întrebări recapitulative

1. Ce defecte se pot ivi la izolatoare?
2. Ce cauze provoacă defectarea conductoarelor?
3. Ce mijloace se folosesc pentru amortizarea vibrațiilor la conductoare?

ORGANIZAREA EXPLOATĂRII LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Exploatarea liniilor aeriene trebuie organizată astfel, încît să se realizeze o funcţionare continuă a acestora, cu cît mai puţine întreruperi şi de durată cît mai mică.

Pentru aceasta, personalul de exploatare trebuie să acţioneze astfel, încît să fie prevenite toate posibilităţile de întreruperi, iar atunci cînd totuşi s-a întîmplat o avarie să poată interveni cu maximum de urgenţă şi eficacitate pentru a restabili funcţionarea în cel mai scurt timp.

În acest scop, reţelele electrice (linii de înaltă şi joasă tensiune, posturi şi staţii de transformare) se împart pe sectoare, în aşa fel încît fiecare sector să formeze un tot cît mai unitar. La rîndul lor, sectoarele sînt împărţite în centre şi, dacă este necesar, centrele sînt împărţite în subcentre. În acest mod, fiecare porţiune a liniei poate fi supravegheată îndeaproape şi oriunde s-ar ivi un defect există personal de specialitate care poate interveni imediat.

Pentru ca personalul să poată acţiona în bune condiţii trebuie să fie dotat cu toate cele necesare în acest scop : mijloace de comunicaţie şi transport, scule etc.

1. Mijloace de comunicaţie

În timpul exploatării normale, dar mai ales în timpul avariilor, este necesar ca oamenii care colaborează la aceste lucrări să poată comunica cu uşurinţă între ei. În acest scop se pot folosi uneori instalaţiile telefonice obişnuite. Întreprinderile de electricitate trebuie să aibă şi mijloace proprii de comunicaţii.

Există posibilitatea ca liniile telefonice să fie instalate chiar pe stîlpii liniilor de înaltă tensiune[1]. Acest sistem se utilizează la linii cu tensiunea de la 6 la 30 kV.

Pentru comunicaţii telefonice se pot utiliza chiar conductoarele liniilor de înaltă tensiune. În acest caz, pentru telefonie se folosesc curenţi alternativi de frecvenţă înaltă (unde radiofonice) şi posturi telefonice racordate la conductoarele de înaltă tensiune prin condensatoare speciale. Acest sistem se foloseşte la linii de înaltă tensiune de 60, 110, 220 kV.

[1] În acest caz există pericolul ca un conductor al liniei de înaltă tensiune să cadă peste firele telefonice şi să producă accidente, electrocutînd pe cei care vorbesc la aparate şi defectînd aparatele. De aceea, în astfel de cazuri se folosesc numai posturi telefonice protejate contra tensiunii înalte (după tensiunea de regim a liniei pe care sînt instalate firele telefonice).

În ultimul timp multe unități de exploatare au fost dotate cu aparate de radio emise-recepție fixe și mobile, care asigură o comunicație rapidă și sigură între diferitele centre, sau între acestea și echipele care se află la lucru sau în control pe teren.

2. Mijloace de transport

Deplasarea oamenilor, în special pentru înlăturarea deranjamentelor, trebuie să se facă într-un timp cît mai scurt.

Pentru distanțe mari sînt necesare autocamionete de capacitate mică (0,5—1,5 t), care au avantajul că pot transporta cu ușurință mai mulți oameni, împreună cu sculele respective.

Pentru distanțe mai mici, în special în orașe, se folosesc automobile, motociclete, biciclete etc. În anumite cazuri este necesară folosirea tractoarelor.

3. Scule și materiale

Muncitorii de la sectoare, centre și subcentre trebuie dotați cu sculele și materialele necesare lucrărilor pe care le execută.

Pentru ca repararea defectelor care se ivesc să se poată face imediat și să nu se întîmple ca anumite scule sau materiale să lipsească tocmai în momentul deranjamentului, ceea ce ar provoca mari pagube, este necesar ca o anumită cantitate de scule și materiale să fie pregătite totdeauna pentru astfel de cazuri. Acestea poartă denumirea de „stoc de securitate pentru deranjamente (avarii)". Imediat ce la un deranjament acest stoc a fost descompletat, el trebuie refăcut.

Sculele și materialele din stocul de securitate pentru deranjamente trebuie păstrate în bune condiții, în magazii curate și plasate în locuri accesibile, în lăzi speciale, pentru a putea fi transportate ușor și rapid. Ele nu se vor folosi sub nici un motiv la lucrări de reparații sau întreținere curente, ci se vor păstra numai pentru cazuri de deranjamente.

4. Documentația tehnică

Nu se poate concepe o bună exploatare a unui sector de rețele, fără existența unei documentări corespunzătoare asupra tuturor rețelelor, cu toate datele tehnice. Aceste date se păstrează în mod obișnuit la secția tehnică a sectorului respectiv ; ele trebuie să cuprindă :

— o hartă geografică sau un plan al regiunii pe care sînt trecute traseele principalelor rețele ;
— traseele liniilor și profilele lor, acolo unde terenul este accidentat ;
— tabelele sau diagramele cu săgețile de montaj ale conductoarelor ;
— inventarele liniilor și desenele stîlpilor ;
— registrul cu toate deranjamentele înregistrate.

Întrebări recapitulative

1. Ce mijloace de comunicație folosesc lucrătorii în timpul înlăturării deranjamentelor ?
2. Cu ce mijloace de transport trebuie dotat un sector pentru a putea interveni la timp în caz de defecțiuni ?
3. De ce documentație tehnică trebuie să dispună fiecare sector ?

Partea a treia

LINII ELECTRICE SUBTERANE

Capitolul XII

ELEMENTELE LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

CABLURILE ELECTRICE

Distribuția energiei electrice se face nu numai prin linii aeriene, ci și prin linii subterane. În acest scop se folosesc cabluri electrice izolate și îngropate în pămînt, fie direct, fie în tuburi sau canale.

În comparație cu liniile aeriene de transport, cablurile subterane prezintă următoarele avantaje :

— sînt mai sigure din punct de vedere al exploatării, nefiind supuse influențelor atmosferice ;

— nu ocupă spațiu în exterior și, în același timp, nu strică aspectul estetic, avantaj important în special la rețelele orașelor mari și în interiorul uzinelor ;

— nu prezintă pericol de atingere directă pentru oameni și materiale ;

— se pot introduce direct în pămînt, în canale exterioare sau interioare clădirilor, în subsoluri etc.

În schimb, cablurile electrice subterane prezintă, față de liniile aeriene, și o serie de dezavantaje, printre care :

— pozarea cablurilor și întreținerea lor necesită personal de o mai înaltă calificare ;

— au prețul de cost mai ridicat ;

— deși defectele cablurilor sînt relativ rare, înlăturarea lor se efectuează mai greu decît la liniile aeriene.

Indiferent de felul cablului și de tensiunea sub care lucrează, un cablu trebuie să aibă o bună izolație electrică, atît între conductoare, cît și între fiecare conductor și pămînt ; în cazul cînd este expus la lovituri sau presiuni, cablul trebuie să aibă un înveliș protector din punct de vedere mecanic.

Cablurile se pot clasifica după mai multe criterii : după numărul conductoarelor, după tensiunea de funcţionare şi după felul izolaţiei.

După numărul conductoarelor, cablurile pot fi unifilare (cu un singur conductor) sau multifilare (cu două, trei, patru sau mai multe conductoare).

După tensiunea pentru care au fost construite există cabluri de joasă tensiune (pînă la 1 000 V) şi cabluri de înaltă tensiune (peste 1 000 V).

De asemenea există şi cabluri construite special pentru telecomunicaţii (curenţi slabi), cu o izolaţie mai redusă decît cele pentru distribuţia energiei, de care însă nu ne vom ocupa în acest manual.

Conductoarele propriu-zise ale cablurilor se execută din cupru sau din aluminiu. Pentru secţiunile mici conductoarele sînt dintr-un singur fir de secţiune circulară. Pentru secţiuni mai mari conductoarele sînt împletite sub formă de funie, avînd de obicei forma rotundă, ca şi conductoarele liniilor aeriene, însă uneori şi alte forme.

Izolaţia cablurilor se face din diferite materiale : hîrtie, cauciuc, policlorură de vinil.

Pentru protecţia contra umezelii, cablurile sînt învelite într-un înveliş etanş de plumb ; în cazul cînd cablul este expus loviturilor sau presiunilor, el va avea un înveliş protector format dintr-o bandă de oţel, iar dacă va fi supus acţiunii unor agenţi chimici, va trebui să aibă şi un înveliş compus în general dintr-unul sau mai multe straturi de iută îmbibată cu asfalt.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt avantajele cablurilor subterane faţă de liniile aeriene?
2. Care sînt dezavantajele cablurilor ?
3. După ce criterii se pot clasifica cablurile ?
4. Ce materiale izolate şi protectoare folosesc cablurile ?

TIPURI DE CABLURI ELECTRICE — CABLURILE CU IZOLAŢIE DE HÎRTIE

Cele mai cunoscute cabluri subterane sînt cele cu izolaţie de hîrtie şi manta de plumb.

Construcţia acestor cabluri diferă după tensiunea de serviciu. Cele pentru 1, 6, 10 şi 15 kV au însă o construcţie asemănătoare şi nu diferă decît după grosimea izolaţiei. Pentru tensiuni mai mari sînt necesare construcţii speciale, care se vor vedea mai departe.

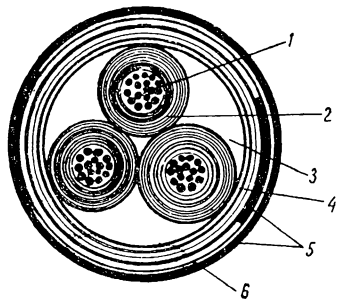


Fig. 12—1. Cablu trifilar cu izolație de hîrtie și manta de plumb :

1 — conductor; *2* — hîrtie uleiată; *3* — umplutură; *4* — manta de plumb; *5* — iută asfaltată; *6* — bandă de oțel.

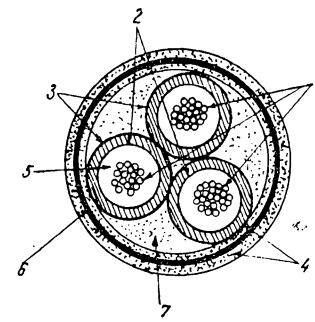


Fig. 12—2. Cablu de înaltă tensiune cu trei mantale de plumb :

1 — conductoare de cupru; *2* — ecran din foiță metalizată; *3* — manta de plumb; *4* — strat de iută; *5* — izolație de hîrtie uleiată; *6* — armătură de oțel; *7* — umplutură de iută îmbibată cu gudron.

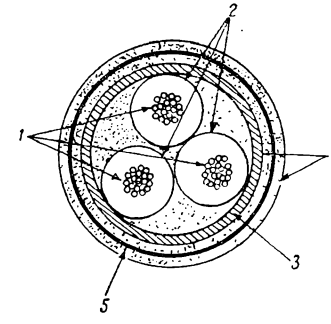


Fig. 12—3. Cablu cu foiță metalizată :

1 — conductoare de cupru; *2* — ecran din foiță metalizată; *3* — manta de plumb; *4* — strat de iută îmbibată; *5* — armături din benzi de oțel.

În figura 12—1 este reprezentată o secțiune printr-un cablu obișnuit cu trei conductoare, cu izolație de hîrtie și manta de plumb.

Fiecare conductor este înfășurat într-un strat izolant de hîrtie uleiată. Cu cît tensiunea cablului este mai mare, cu atît stratul de hîrtie este mai gros. La rîndul lor, conductoarele cu hîrtie uleiată sînt înfășurate împreună cu mai multe straturi de hîrtie impregnată, iar golurile se umplu cu hîrtie răsucită sau iută îmbibată în ulei. Scopul izolației exterioare este să mărească rezistența de izolație dintre fiecare conductor în parte și mantaua de plumb. Mantaua este necesară pentru a proteja conductoarele și izolația împotriva umezelii, în care scop ea este continuă, formînd un înveliș etanș.

De cele mai multe ori, pe lîngă izolația electrică și protecția contra umezelii, este necesar încă un înveliș protector din punct de vedere mecanic (contra loviturilor) și un înveliș protector contra agenților chimici. În acest scop, peste mantaua de plumb se înfășoară un strat de iută asfaltată, apoi o bandă de oțel (armătură) înfășurată în spirală și, în sfîrșit, un nou strat de iută asfaltată.

Pentru tensiuni peste 20 kV se folosesc cabluri cu trei conductoare și cu manta de plumb separată pentru fiecare conductor (fig. 12—2).

Peste izolația de hîrtie impregnată, fiecare conductor are cîte o manta separată de plumb. Cele trei vine astfel formate se răsucesc împreună și se acoperă cu un strat de iută impregnată, iar golurile dintre ele se umplu cu hîrtie sau iută îmbibată cu ulei. Deasupra se înfășoară o bandă de oțel care protejează contra loviturilor și, în sfîrșit, un nou strat de iută impregnată cu o masă de asfalt, care protejează contra agenților chimici.

Pentru tensiuni înalte (peste 35 kV) se folosesc cabluri cu foiță metalizată (fig. 12—3). La acestea, deasupra izolației de hîrtie a fiecărui conductor se înfășoară un strat dintr-o foiță subțire de hîrtie metalizată. Aceste cabluri au o manta de plumb comună pentru toate conductoarele.

S-a observat că la tensiuni peste 20 kV, cablurile se defectează deseori din cauza străpungerii izolației dintre două conductoare sau dintre un conductor și mantaua de plumb. Aceste defecte se datorează descărcărilor electrostatice pricinuite de golurile de aer pe care le au adesea cablurile obișnuite. Cablurile cu foiță metalizată nu au straturi de izolație comună și astfel dispare acțiunea spațiilor goale dintre conductoare și această izolație. Hîrtia metalizată care înfășoară izolația fiecărui conductor are contact electric cu mantaua de plumb și cu foița metalizată de pe celelalte conductoare. În acest mod se obține o uniformizare a cîmpului electrostatic și deci pericolul străpungerii izolației este mai redus.

La tensiuni foarte înalte (60—220 kV) se folosesc cabluri speciale umplute cu ulei, în general monofilare. La aceste cabluri conductorul are în secțiune o formă inelară și în interiorul lui poate circula ulei de transformator, care îmbibă, în același timp, și restul izolației cablului. Manșoanele de legătură și cutiile terminale sînt umplute, de asemenea, cu ulei. Uleiul este pus în legătură cu niște rezervoare. Cînd, datorită trecerii curentului electric prin conductor, acesta se încălzește, uleiul se dilată și excesul trece în rezervoare. Cînd cablul se răcește și deci uleiul se contractă, uleiul curge din rezervoare în cablu. În acest mod se elimină posibilitatea formării de goluri în interiorul cablurilor și, în același timp, mantaua de plumb, nefiind supusă la presiuni mari, nu se poate deforma.

La tensiuni foarte înalte se mai folosesc, de asemenea, cabluri cu gaze sub presiune. În aceste cazuri, cablul izolat este montat într-o conductă de oțel ermetic închisă, în care se pompează azot la o presiune de 10—15 atmosfere. Azotul, care este un gaz izolant, umple golurile, mărește tensiunea de ionizare din interiorul cablului și deci micșorează posibilitățile de defectare.

La noi în țară se execută cabluri de cupru și de aluminiu cu izolație de hîrtie, de 1—10 kV (STAS 4481—59). Cele mai uzuale tipuri de cabluri sînt cele denumite CHPBI și ACHPBI, de cupru sau aluminiu (litera A de la al doilea tip de cablu arată că este vorba de un conductor din aluminiu), cu izolație de hîrtie, manta de plumb (înveliș de protecție mecanică) și de iută (contra agenților chimici). Se întrebuințează pentru pozare directă în pămînt.

La comanda unui cablu trebuie indicată tensiunea de serviciu, secțiunea conductoarelor, numărul lor și tipul cablului. De exemplu : cablu 6 kV, 3×70 mm^2, tip ACHPBI.

Întrebări recapitulative

1. Ce învelişuri are un cablu subteran cu învelişuri de hîrtie?
2. La ce serveşte mantaua de plumb a unui cablu?
3. La ce serveşte banda de oţel care înveleşte cablurile subterane?
4. Ce rol are foiţa metalizată care intră în componenţa învelişurilor cablurilor?

CABLURI CU IZOLAŢIE DE CAUCIUC SAU POLICLORURĂ DE VINIL

1. Cabluri cu izolaţie de cauciuc

Cablurile cu izolaţie de cauciuc se folosesc la joasă tensiune şi la tensiuni de 3—6 kV, se fabrică cu unul sau mai multe conductoare, de cupru sau de aluminiu.

Izolaţia este formată dintr-un strat de cauciuc vulcanizat, înfăşurat în jurul fiecărui conductor. Conductoarele astfel izolate se răsucesc, golurile rămase se umplu cu cauciuc şi totul se înveleşte cu o bandă impregnată. Deasupra se aplică mantaua de plumb, armătura de oţel şi învelişul de iută asfaltată, la fel ca şi la cablurile cu izolaţie de hîrtie.

Cablurile cu izolaţie de cauciuc au unele dezavantaje faţă de cablurile cu izolaţie de hîrtie. Astfel: temperatura de încălzire a conductoarelor este mai mică; fabricarea izolaţiei de cauciuc pentru tensiuni înalte comportă mai multe dificultăţi; izolaţia de cauciuc se degradează relativ repede sub acţiunea razelor solare şi a luminii; cauciucul se dizolvă cu uşurinţă în ulei şi, în sfîrşit, izolaţia de cauciuc costă mai mult decît izolaţia de hîrtie.

Cablurile cu izolaţie de cauciuc au avantajul că se pot îndoi mai uşor, montajul se poate face la temperaturi mai joase (pînă la —30 °C) şi nu există scurgeri ca în cazul cablurilor cu ulei.

La noi în ţară se construiesc cabluri cu izolaţie de cauciuc pentru 500, 3 000 şi 6 000 V, de tipurile CP, CPI, CPB şi CPBI cu conductoare de cupru şi de tipurile ACP, ACPI, ACPB şi ACPBI cu conductoare de aluminiu (STAS 2405—61).

Cablurile CP şi ACP sînt cu manta de plumb fără alt înveliş protector. Ele se folosesc la instalaţii în interiorul clădirilor, în canale sau tunele, atunci cînd nu există probabilitatea unor eventuale loviri, cînd nu există gaze sau acizi care ar putea ataca mantaua de plumb şi cînd nu există pericol de explozie.

Cablurile CPI şi ACPI au peste mantaua de plumb un înveliş de protecţie din iută, cînepă sau alt material asemănător, impregnat cu un amestec bituminos. Se folosesc acolo unde nu există pericol de lovire, ca şi cablurile CP şi APC, însă rezistă la gazele sau acizii care pot ataca mantaua de plumb.

Cablurile CPB şi ACPB au mantaua de plumb şi un înveliş de protecţie mecanică format din două benzi de oţel. Se folosesc în locurile unde există pericol de lovire sau strivire, în locuri expuse pericolului de incendiu şi explozie, însă fără gaze sau vapori corosivi.

Cablurile CPBI şi ACPBI au manta de plumb, înveliş de protecţie mecanică şi înveliş de protecţie contra acţiunilor chimice. Se folosesc pentru montaj în pămînt şi în afara clădirilor.

2. Cablurile cu izolaţie din policlorură de vinil

În ultimii ani industria noastră electrotehnică a fabricat diferite tipuri de cabluri cu izolaţie din policlorură de vinil (material plastic), care, faţă de cablurile cu izolaţie de cauciuc, au avantajul că rezistă mai bine la încălzire şi la agenţii exteriori. Exemple : cabluri CYY şi ACYY, corespunzătoare cablurilor CP şi ACP ; cabluri CYYB şi ACYYB, corespunzătoare cablurilor CPB şi ACPB ; cabluri CYYBI şi ACYYBI, corespunzătoare cablurilor CPBI şi ACPBI.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt avantajele şi dezavantajele cablurilor cu izolaţie de cauciuc ?
2. La ce tensiuni se folosesc cablurile cu izolaţie de cauciuc ?
3. Ce tipuri de cabluri cu izolaţie de policlorură de vinil se fabrică în ţara noastră ?

MANŞOANE DE ÎNNĂDIRE

S-a văzut că un cablu este acoperit pe toată lungimea lui cu o manta de plumb, care are scopul de a proteja conductoarele şi izolaţia lor împotriva pătrunderii umezelii.

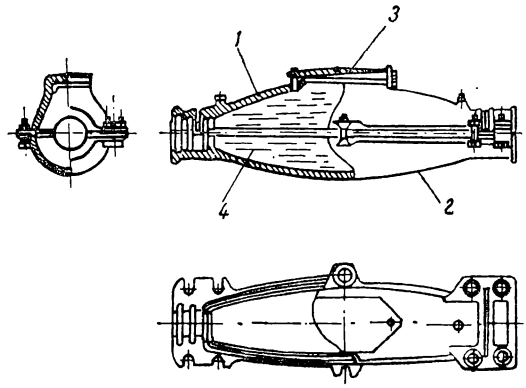


Fig. 12—4. Manşon de înnădire :
1 — partea superioară; *2* — partea inferioară; *3* — capac; *4* — masă izolantă.

Cînd se înnădesc două cabluri, punctul de înnădire trebuie să fie pregătit astfel, încît să nu prezinte un punct slab, atît din punct de vedere electric, cît şi din punctul de vedere al pătrunderii umezelii. În acest scop se folosesc manşoane de înnădire.

Manşoanele de înnădire se construiesc din fontă (fig. 12—4). Ele sînt alcătuite dintr-o parte superioară şi o parte inferioară, prinse între ele cu şuruburi. În partea superioară se fixează un capac, prin care se toarnă în interiorul manşonului un material izolant (masă izolantă), care are rolul de a nu lăsa să pătrundă umezeala la izolaţia de hîrtie a conductoarelor.

Manşoanele de înnădire pentru cabluri cu tensiuni pînă la 1 kV se fabrică la noi în ţară de trei mărimi :

— manşoane mici, pentru cabluri cu două conductoare, cu secţiunea pînă la 2×25 mm^2 ;

— manşoane mijlocii, pentru cabluri cu patru conductoare, cu secţiunea pînă la $3 \times 50 + 25$ mm^2 ;

— manşoane mari, pentru cabluri cu patru conductoare, cu secţiunea de la $3 \times 70 + 50$ mm^2, pînă la $3 \times 120 + 95$ mm^2.

Cele două capete de cablu care trebuie înnădite se introduc de o parte şi de alta a manşonului, desfăcîndu-se învelişurile lor, în mod treptat, pînă se ajunge la conductoare (fig. 12—5).

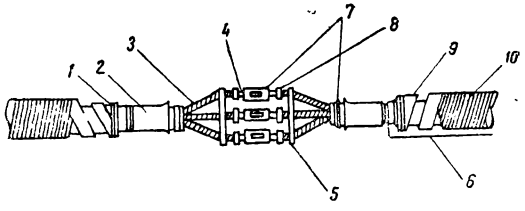


Fig. 12—5. Prinderea conductoarelor în manşonul de înnădire :
1 — legătură de sîrmă; *2* — manta de plumb; *3* — izolaţie de hîrtie a fazei: *4* — partea fără izolaţie; *5* — placa de porţelan care menţine fazele distanţate; *6* — firul de legare la pămînt; *7* — cleme de înnădire; *8* — legătură cu sfoară; *9* — armătură de oţel; *10* — iută.

Fig. 12—6. Cleme de înnădire a conductoarelor în manşoane :
a — clemă dreaptă; *b* — clemă format butoi.

Capetele conductoarelor se prind unul de altul cu ajutorul unor cleme de înnădire (fig. 12—6). Conductoarele se introduc în aceste cleme de o parte şi de alta şi se fixează cu şuruburi. Conductoarele diferitelor faze se menţin distanţate între ele, cu ajutorul unor plăcuţe de proţelan sau de lemn impregnat cu ulei prin fierbere.

Masa izolantă folosită la umplerea manşoanelor pentru joasă tensiune (pînă la 1 kV) este un produs bituminos (smoală) de calitate superioară, avînd culoarea neagră. Prin încălzire, masa neagră devine fluidă şi, în acest fel, se toarnă în manşon. Prin răcire fixează şi izolează conductoarele în manşon. Masa izolantă trebuie să fie cît mai compactă (să nu aibă goluri) şi să nu conţină apă.

La cablurile de înaltă tensiune, pătrunderea umezelii este mai periculoasă decît la cablurile de joasă tensiune. De aceea, la cablurile de 6—15 kV, în interiorul manşonului de fontă se montează în plus un manşon de plumb (fig. 12—7), care se sudează cu mantaua de plumb a cablului şi astfel umezeala este împiedicată în mod sigur să pătrundă la izolaţia de hîrtie. Masa izolantă folosită la cabluri de înaltă tensiune este de culoare galbenă şi conţine ulei mineral asemănător cu cel folosit la îmbibarea hîrtiei izolante de la cablurile cu izolaţie de hîrtie.

În figura 12—8 este reprezentat un manşon de înnădire pentru 35 kV. Manşonul serveşte pentru una din fazele unui cablu de 35 kV cu trei mantale de plumb (fiecare fază are cîte o manta de plumb separată), deci pentru înnădirea cablului sînt necesare trei manşoane (cîte unul pentru fiecare fază).

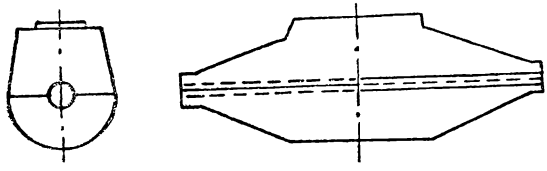


Fig. 12—7. Manşon de plumb.

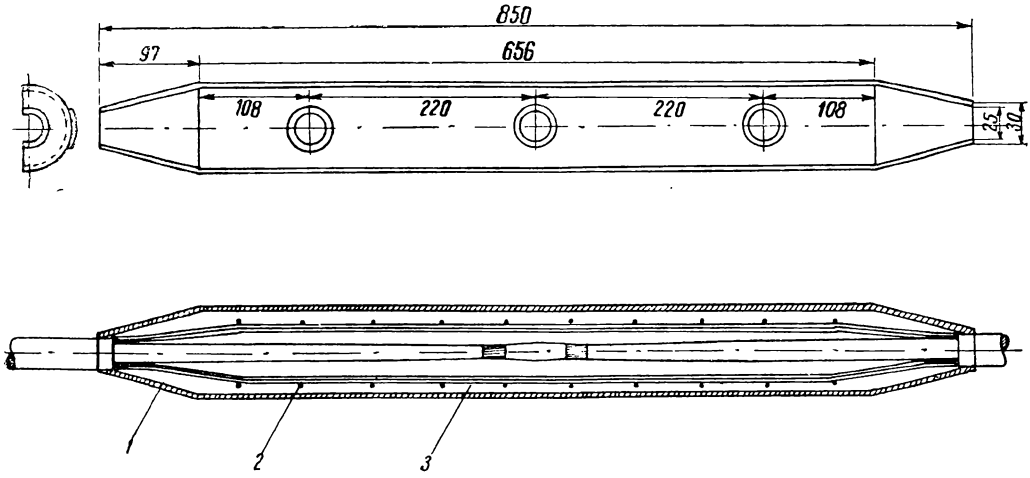


Fig. 12—8. Manşon de înnădire pentru cablu de 35 kV :
1 — manta de plumb; *2* — împletire în cruce cu iută flexibilă; *3* — bandă de staniol.

Întrebări recapitulative

1. Din ce se compune un manşon de înnădire?
2. Cum se efectuează înnădirea conductoarelor în interiorul unui manşon?
3. Prin ce se caracterizează manşoanele folosite la cablurile de înaltă tensiune?

MANŞOANE DE DERIVAŢIE, CUTII DE DISTRIBUŢIE ŞI CUTII TERMINALE

1. Manşoane de derivaţie

Un manşon de derivaţie este asemănător unui manşon de înnădire (fig. 12—9), cu deosebirea că în partea laterală are o prelungire prin care iese cablul de derivaţie. Manşoanele de derivaţie au aceleaşi trepte de mărime ca şi manşoanele de înnădire. Ele se folosesc numai la cablurile de joasă tensiune. În înaltă tensiune derivaţiile sînt permise numai în staţii sau posturi de transformare.

La racordurile fazelor se folosesc două tipuri de cleme : cleme de derivaţie, format T şi cleme de derivaţie de tip capac.

Clemele de derivaţie format T (fig. 12—10) se folosesc atunci cînd cablul principal care se ia derivaţia este întrerupt în manşonul de derivaţie.

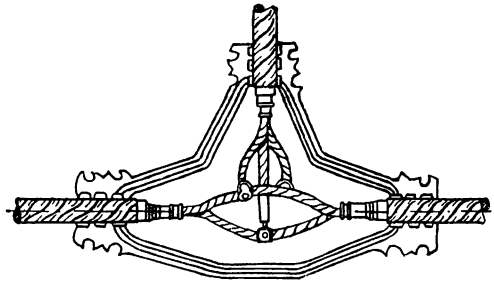


Fig. 12—9. Manşon de derivaţie.

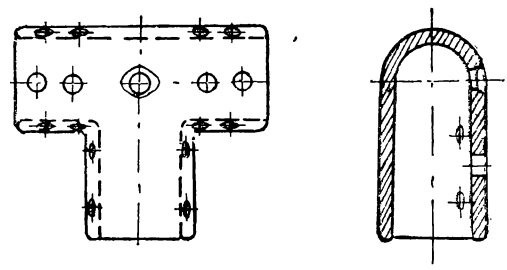


Fig. 12—10. Clemă de derivaţie format T.

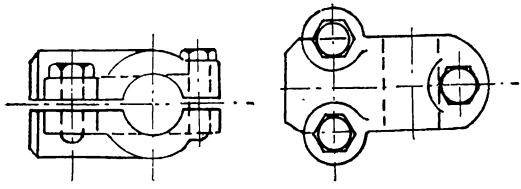


Fig. 12—11. Clemă de derivaţie de tip capac.

Ele sînt confecţionate din alamă. Capetele conductoarelor se introduc în ele ca şi în clemele de înnădire, se fixează cu şuruburi şi apoi se cositoresc.

Clemele de derivaţie de tip capac (fig. 12—11) se folosesc acolo unde cablul din care se ia legătura nu trebuie să fie întrerupt, de exemplu, atunci cînd dintr-un cablu de distribuţie de joasă tensiune de pe o stradă se face un racord la o locuinţă. Aceste cleme nu se mai cositoresc.

2. Cutii de distribuţie

Dacă într-un punct al unui cablu sînt de făcut mai multe derivaţii, în acel punct se va folosi *o cutie de distribuţie.* O astfel de cutie (fig. 12—12) este formată dintr-un corp rotund sau dreptunghiular de fontă, care se poate închide etanş cu un capac de tablă (prevăzut cu o garnitură de cauciuc pentru a nu permite pătrunderea umezelii) şi apoi deasupra cu un capac cu rezistenţă mecanică (de fontă), care protejează tot ansamblul contra loviturilor. În părţile laterale, cutia are mai multe deschizături, pentru fiecare legătură de cablu cîte una. Există cutii de distribuţie pentru 4, 6 sau 8 derivaţii. Fiecare cablu care vine la cutie are un manşon, care se fixează pe una dintre deschizăturile laterale. Pentru a se obţine o etanşeitate perfectă, între rama manşonului şi rama deschizăturii se montează o garnitură de cauciuc. În cazul cînd nu se folosesc toate deschizăturile cutiei, cele nefolosite se acoperă cu un capac etanş.

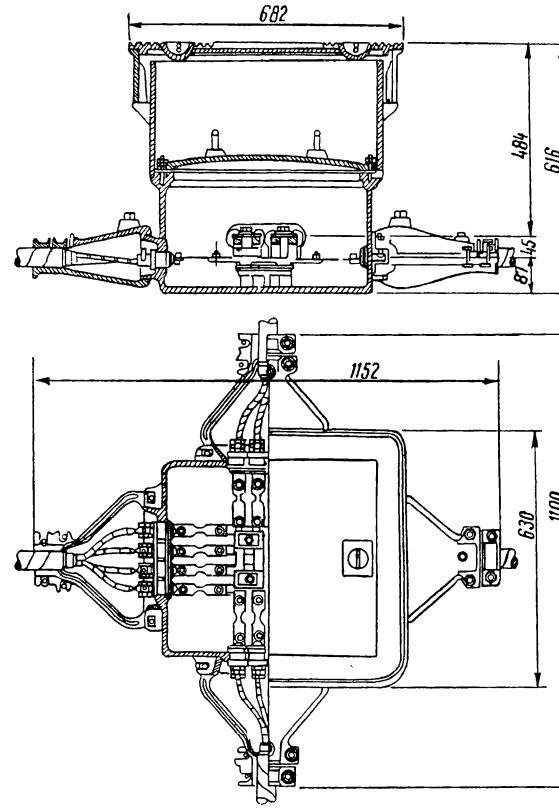


Fig. 12—12. Cutie de distribuție.

În interiorul cutiei sînt prevăzute bare de distribuție, din cupru neizolat, de formă circulară sau dreptunghiulară (după tipul cutiei).

Conductoarele cablurilor se leagă la barele de distribuție prin intermediul unor siguranțe cu mîner, de porțelan sau bachelită. Prin acest sistem, oricare dintre cablurile care intră sau ies din cutia de distribuție poate fi separat cu ușurință, cu ajutorul siguranțelor și clemelor cu care este îmbinat.

3. Cutii terminale

Oricare cablu subteran are la capetele lui cîte o *cutie terminală*. Cu ajutorul acesteia, conductoarele sînt scoase din izolația cablului și se leagă la aparate, la mașini, la barele stațiilor sau la liinile aeriene.

După locul unde se instalează, cutiile terminale sînt : de interior sau de exterior, iar după materialul din care sînt confecționate, acestea sînt : de fontă, tablă sau plumb.

Cutiile terminale se mai deosebesc după tensiunea de funcţionare a cablului (pentru înaltă şi pentru joasă tensiune) şi după secţiunea conductoarelor cablului.

La joasă tensiune, pentru interior, se pot folosi diferite tipuri de cutii terminale. Astfel, în figura 12—13 este reprezentată o cutie terminală de fontă pentru un cablu de joasă tensiune cu două conductoare. Capetele conductoarelor se desfac de izolaţie, ca şi la manşoanele de înnădire, şi se scot afară prin capacul *C*, confecţionat dintr-un material izolant. În interiorul cutiei se introduce masă izolantă neagră, care împiedică pătrunderea umezelii şi menţine izolaţia. Cutia terminală se prinde de perete sau de o construcţie metalică printr-o bridă metalică *B*.

În figura 12—14 este reprezentată o cutie terminală uscată (fără masă izolantă în interior), executată din plumb; aceasta este una dintre cele mai simple cutii terminale, fiind folosită atît la joasă tensiune, cît şi la tensiuni de 6–15 kV.

În figura 12—15 este reprezentată o cutie terminală din tablă de oţel. Trecerea conductoarelor prin capacul cutiei, care este de asemenea din tablă de oţel, se face prin intermediul unor piese din material izolant. Această cutie se foloseşte la joasă tensiune, pentru interior. Pentru exterior se folosesc cutii cum este cea din figura 12—16, la care ieşirea conductoarelor se face în jos, pentru a nu permite intrarea apei în interior.

Pentru tensiunea de 6—20 kV, în exterior se folosesc cutii de fontă cu izolatoare, cum este cea din figura 12—17. Aceste cutii se aseamănă cu cele de fontă de joasă tensiune, cu deosebirea că, fiind vorba de tensiune înaltă, conductoarele trebuie să fie foarte bine izolate de partea superioară a cutiei; pentru aceasta se folosesc izolatoare de porţelan, prin interiorul cărora trec conductoarele. La tensiuni începînd de la 30 kV în sus, pentru cabluri cu trei mantale de plumb (manta de plumb separată pentru fiecare fază) se folosesc trei cutii unipolare, a căror parte principală o formează izolatorul de trecere, care este umplut cu ulei izolant. Pentru racordarea la bare sau aparate a conductoarelor care ies din cutiile terminale se folosesc cleme de legătură numite *papuci de cablu*. Ele se execută din cupru sau aluminiu (fig. 12—18). În partea inferioară se fixează conductorul, prin cositorire, iar partea lor superioară se fixează de bare sau aparate cu şurub.

Întrebări recapitulative

1. Cum este construit şi la ce serveşte un manşon de derivaţie?
2. Ce este o cutie de distribuţie?
3. Ce tipuri de cutii terminale cunoaşteţi?
4. Ce deosebire este între o cutie terminală de interior şi una de exterior?

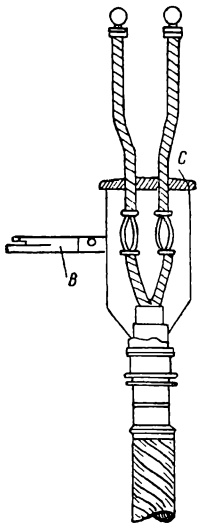


Fig. 12—13. Cutie terminală de fontă.

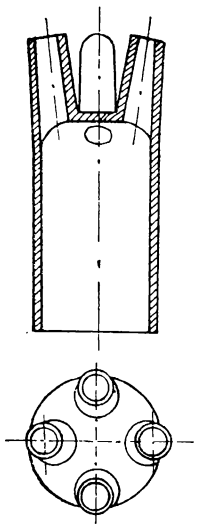


Fig. 12—14. Cutie terminală uscată din plumb.

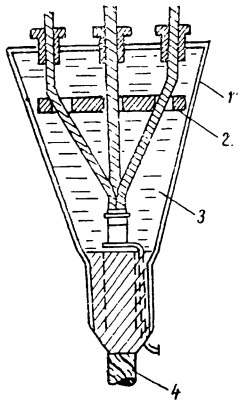


Fig. 12—15. Cutie terminală din tablă, tip interior pentru joasă tensiune :
1 — pîlnie de oțel ; *2* — placă de porțelan ; *3* — masă izolantă ; *4* — cablu.

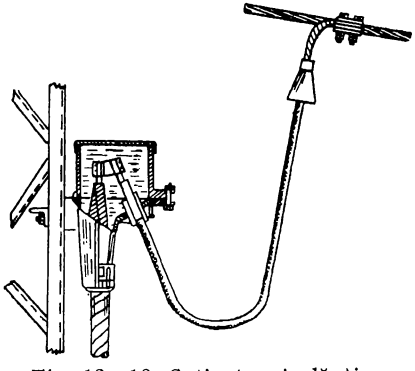


Fig. 12—16. Cutie terminală tip exterior pentru joasă tensiune.

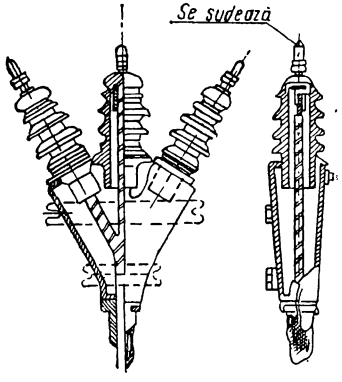


Fig. 12—17. Cutie terminală tip interior pentru înaltă tensiune.

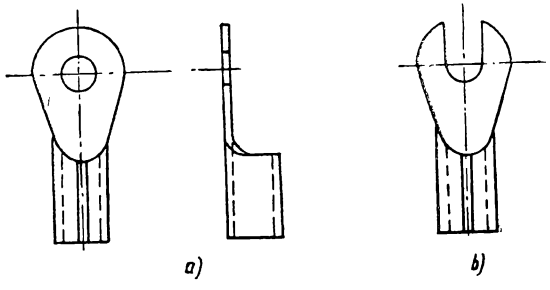


Fig. 12—18. Papuci de cablu :
a — cu urechea închisă ; *b* — cu urechea deschisă.

Capitolul XIII

MONTAREA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

ALEGEREA TRASEULUI ŞI POZAREA CABLURILOR

1. Alegerea traseului

Traseul unui cablu trebuie astfel ales, încît, ţinînd seama de punctul de plecare şi de sosire a cablului, să se folosească un drum cît mai scurt, deci o lungime de cablu cît mai mică şi, în acelaşi timp, să se realizeze o execuţie cît mai uşoară şi mai ieftină. Pentru a nu fi supuse deteriorărilor mecanice, pozarea cablurilor electrice se face sub trotuare şi nu în partea carosabilă a străzii, iar marginea şanţului de pozare a cablului trebuie să fie cel puţin la 1 m de limitele de proprietate (case sau garduri).

Traversările de străzi sau şosele se fac prependicular pe acestea şi de preferinţă la capetele trotuarelor, luîndu-se măsuri de protecţie a cablurilor.

Dacă un cablu alimentează abonaţi, el se dispune pe partea străzii unde există mai mulţi abonaţi.

Se evită, pe cît posibil, trecerea prin locuri dificile (trecerea pe sub ape, poduri, căi ferate etc.). De asemenea, se evită traseele unde cablul ar putea fi supus la îndoituri cu raze de curbură mai mici de 15 ori decît diametrul exterior al cablului.

Pentru ca alegerea traseului să se poată face în cît mai bune condiţii este necesar să existe o ridicare topografică a traseului pe care urmează a se

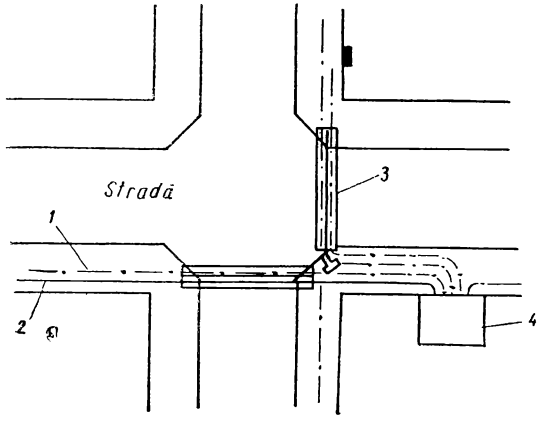


Fig. 13—1. Planul cu trasee de cabluri: *1* — cablu de înaltă tensiune; *2* — cablu de joasă tensiune; *3* — tub de protecţie de beton; *4* — post de transformare.

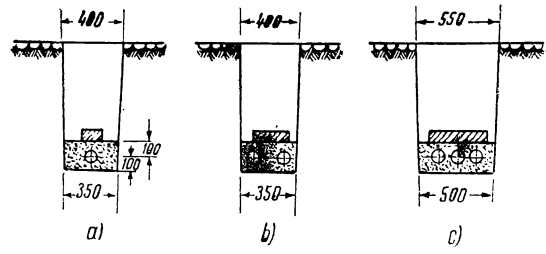


Fig. 13 — 2. Dispoziția cablurilor în șanțuri :
a — un cablu ; *b* — două cabluri alăturate ; *c* — trei cabluri alăturate.

poza cablul, în acest mod putînd să se determine exact și lungimea cablului. Un astfel de plan este reprezentat în figura 13—1, în care se vede traseul cablurilor de înaltă tensiune și al celor de joasă tensiune.

2. Pozarea cablurilor

În mod obișnuit cablurile se pozează direct în pămînt, în șanțuri, după cum se vede în figura 13—2. Pe fundul șanțului se pune un strat de nisip cu grosimea de circa 10 cm, peste care se așază cablul, după care se toarnă un nou strat de nisip tot de aproximativ 10 cm. Peste acest nou strat de nisip se așază un rînd de cărămizi, pentru a proteja cablul împotriva loviturilor de lopată sau tîrnăcop atunci cînd se execută săpături etc.

Dacă trebuie să se pozeze mai multe cabluri în același șanț, ele se așază alături, lăsînd între ele o distanță de 14—15 cm. În acest caz, se ține seama ca stratul de cărămizi să acopere complet cablul, folosindu-se o cărămidă așezată cu muchia lungă perpendicular pe direcția șanțului sau folosindu-se două cărămizi alăturate (fig. 13—2, *b* și *c*). Adîncimea totală a șanțului pentru cablurile pînă la 15 kV este de circa 70 cm.

Pentru cablurile cu tensiunea peste 15 kV se folosesc șanțuri mai adînci (100—110 cm), iar atunci cînd se pozează în același șanț două

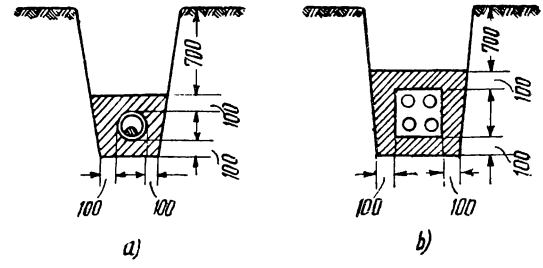


Fig. 13—3. Montarea cablurilor în tuburi de beton :
a — tub rotund ; *b* — tub tip „telefonic" cu 4 găuri.

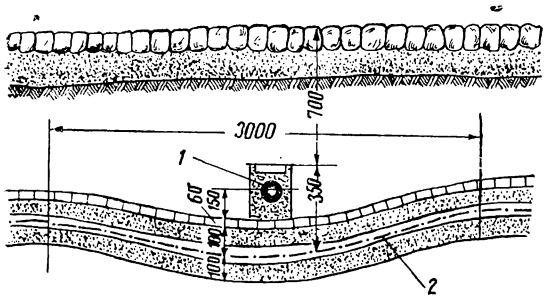


Fig. 13—4. Modul de încrucişare a două cabluri :
1 - cablu de joasă tensiune; *2* — cablu de înaltă tensiune.

cabluri de înaltă tensiune sau unul de înaltă tensiune şi altul de joasă tensiune, este necesar să se aşeze cîte un strat de cărămizi nu numai deasupra, ci şi între cabluri.

La trecerea cablurilor pe sub străzi, şosele, căi ferate etc., cablul poate fi deteriorat prin efectul presiunilor mari care iau naştere la trecerea vehiculelor grele. De aceea, în astfel de cazuri cablurile se montează în tuburi de beton (fig. 13—3). Acestea se înglobează într-o masă de beton care protejează cablul. Dacă trebuie să se monteze mai multe cabluri pe acelaşi traseu, se pot folosi tuburi cu patru găuri (tip telefonic), care se înglobează, de asemenea, într-o masă de beton.

În toate cazurile se păstrează o distanţă de cel puţin 60 cm de la cabluri la fundaţiile clădirilor.

La încrucişarea a două trasee de cabluri trebuie să se păstreze între cabluri o distanţă suficientă. Cînd un cablu este de înaltă tensiune şi altul de joasă tensiune, totdeauna cablul de înaltă tensiune trece pe sub cablul de joasă tensiune (fig. 13—4).

În interiorul clădirilor, cablurile se pozează în canale betonate, acoperite cu plăci de beton sau de tablă striată şi uneori pe suporţi special fixaţi în tavan sau pe pereţi.

Uneori, cînd trebuie pozate mai multe cabluri pe acelaşi traseu, se folosesc tunele speciale, unde cablurile se pozează de o parte şi de alta, pe suporţi speciali. Pentru trecerea de la reţeaua subterană la reţeaua aeriană, cablurile trebuie să iasă din pămînt şi să fie urcate pe stîlp pînă aproape de conductoarele liniei aeriene, unde se fixează cutia terminală. În aceste cazuri cablul se fixează pe stîlpi prin bride (coliere) speciale. Pentru protecţie, cablul se introduce într-o ţeavă de oţel lungă de circa 3 m, din care 0,5 m intră în pămînt, iar porţiunea de 2,5 m rămîne deasupra pămîntului. Ţeava se fixează şi ea de stîlp (fig. 13—5).

Operaţia de pozare a cablului în şanţ trebuie făcută cu mare atenţie. Desfăşurarea de pe tamburul pe care este înfăşurat cablul se face încet,

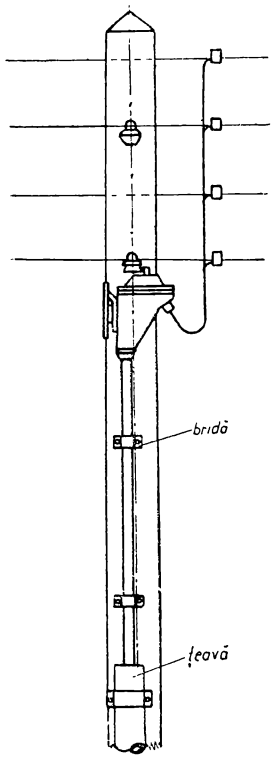


Fig. 13—5 Fixarea cablului pe stîlp.

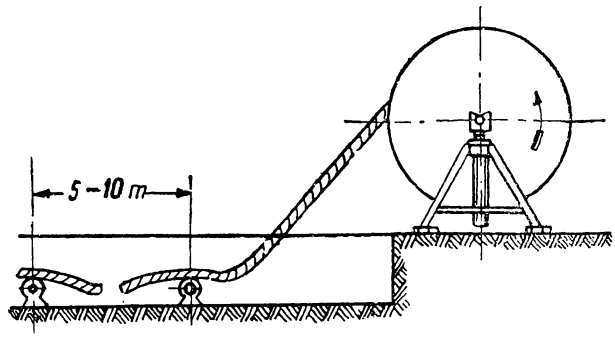


Fig. 13—6. Desfășurarea cablului pentru pozare în șanț.

evitîndu-se tîrîrea cablului direct pe pămînt. Pentru a nu se deteriora, cablul alunecă pe role de lemn așezate la distanță de 5—10 m una de alta (fig. 13—6).

În punctele de trecere prin tuburile de beton sau la subtraversările de conducte, țevi etc., cablul electric se trage cu ajutorul unei sîrme sau cu un cablu de oțel.

La subtraversarea căilor ferate sau a șoselelor — pe care circulația nu se poate întrerupe și deci nu se poate săpa șanțul de pozare a cablului — se folosesc burghie speciale acționate mecanic, cu care se forează o gaură orizontală, prin care se introduc tuburile de beton și apoi cablul.

În mod normal, cablurile se manipulează numai la temperaturi de peste 0 °C. Dacă, în mod excepțional, este necesar să se lucreze la temperaturi sub 0 °C, pentru ca izolația să nu capete fisuri, înainte de desfășurare se ține cablul 2—3 zile într-un loc cald și după transportarea lui la fața locului se desfășoară imediat sau se încălzește la fața locului.

După pozarea cablului în şanţ urmează turnarea stratului de nisip, aşezarea cărămizilor şi astuparea şanţului cu pămînt. Pămîntul din şanţ trebuie să fie bine bătut, pentru ca să nu se producă mai tîrziu tasarea lui.

În sfîrşit, întotdeauna trebuie avut grijă să se refacă pavajul, în aceeaşi situaţie în care era înainte de începerea lucrărilor.

Pentru ca traseul cablului să poată fi recunoscut după astuparea şanţului şi refacerea pavajului este necesar ca pe planurile de execuţie să se indice exact distanţa cablului faţă de repere fixe (construcţii, marginea pavajelor etc.). Acolo unde nu există astfel de repere, se montează borne de beton de-a lungul traseului cablului.

De asemenea, trebuie indicată exact poziţia manşoanelor de înnădire, atît pe teren, prin borne, cît şi pe planurile de execuţie.

Pentru ca la dezgroparea cablurilor acestea să poată fi uşor identificate, se prind, pe toată lungimea lor, din 2 în 2 m, etichete de plumb, pe care se marchează caracteristicile sumare ale cablului respectiv şi punctele pe care le leagă.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiţii trebuie să îndeplinească un bun traseu de cablu?
2. Pe ce porţiune a străzii se pozează cablurile?
3. Ce măsuri de protecţie a cablurilor se iau la traversarea străzilor?
4. Cum se procedează la încrucişarea a două cabluri de tensiuni diferite?
5. Cum se subtraversează şoselele şi căile ferate, pe care nu poate fi întreruptă circulaţia pentru săparea şanţurilor?
6. Ce măsuri se iau pentru a uşura identificarea cablurilor actunci cînd sînt dezgropate?

MONTAREA MANŞOANELOR DE ÎNNĂDIRE

Într-o reţea de cabluri, manşoanele de înnădire pot reprezenta punctele cele mai expuse defectelor, de aceea, ele trebuie executate cu cea mai mare atenţie, pentru a reduce la minimum pericolul de defectare.

La cablurile de joasă tensiune se îndepărtează mai întîi capsulele de plumb şi apoi se taie cu ferăstrăul capetele cablurilor. Din sîrmă de fier

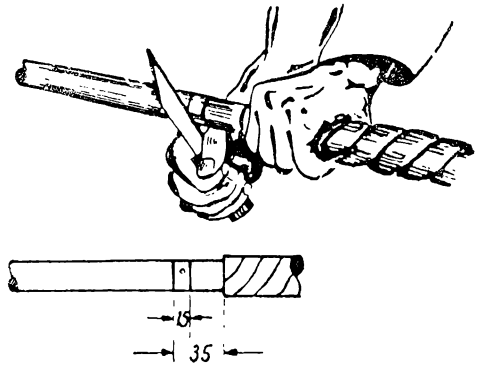


Fig. 13—7. Efectuarea tăieturii circulare la mantaua de plumb.

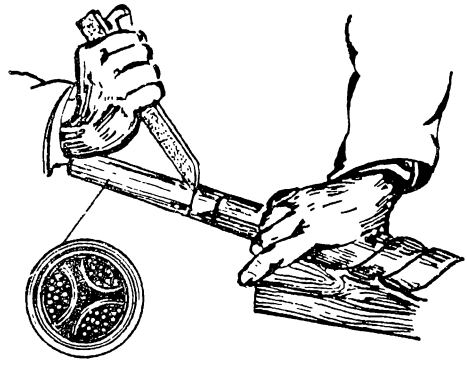


Fig. 13—8. Efectuarea crestăturilor longitudinale la mantaua de plumb.

galvanizată, cu diametrul de 1 mm (8—10 spire), se face un bandaj la o distanță de capăt egală cu jumătate din lungimea manșonului plus 5—6 cm, pentru a nu se desface învelișurile cablului.

Se îndepărtează apoi stratul de iută, care se taie cu un cuțit, și banda de oțel, pentru tăierea căreia nu se folosește ferăstrăul, ci o pilă triunghiulară.

Urmează îndepărtarea mantalei de plumb pe o porțiune de 30—40 cm. Tăierea se face cu un cuțit, întîi circular (fig. 13—7) și apoi se trasează două crestături longitudinale, la distanță de 10 mm una de alta (fig. 13—8).

Fîșia de plumb, lată de 10 mm, dintre cele două crestături longitudinale se ridică ușor cu cuțitul de pe marginea cablului, apoi se îndepărtează de cablu cu ajutorul cleștelui patent (fig. 13—9). După aceea, mantaua de plumb se înlătură pînă la prima crestătură circulară.

Fig. 13—9. Scoaterea din mantaua de plumb a unei fîșii longitudinale.

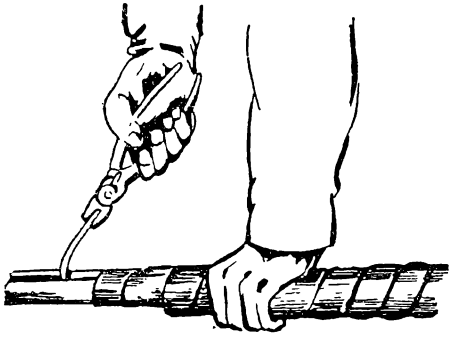
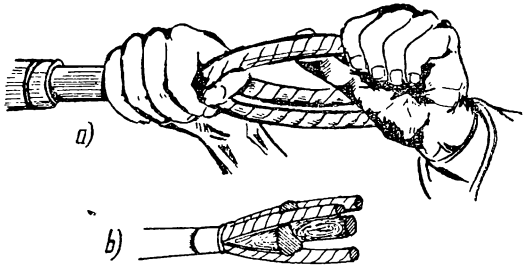


Fig. 13—10. Îndoirea conductoarelor : *a* — cu mîna; *b* — cu șablonul.



Se desface apoi izolația comună de hîrtie și se îndoaie conductoarele, așa cum se vede în figura 13—10, cu mîna sau cu un șablon special.

Se desizolează capetele conductoarelor, se curăță cu o cîrpă înmuiată în benzină, se ung cu pastă de lipit și se introduc în clemele de legătură.

Se cositoresc apoi îmbinările și se depărtează fazele între ele cu piese speciale de porțelan sau lemn îmbibat cu ulei, așa cum se vede în figura 12—5.

Se reizolează apoi conductoarele cu hîrtie îmbibată cu ulei, se montează capacul manșonului și se toarnă în interior masa izolantă încălzită la circa 120°C. Înainte de turnare manșonul trebuie încălzit, mai ales dacă temperatura mediului înconjurător este coborîtă. După turnare, masa izolantă se lasă să se răcească, fără să se pună capacul peste gaura de turnare. Prin răcire, masa izolantă se contractă și manșonul permite turnarea unei noi cantități de masă. Se închide apoi capacul și operația de înnădire a cablului se consideră terminată.

La cablurile de înaltă tensiune (6—15 kV), în interiorul manșonului de fontă se montează un manșon de plumb, care are scopul să asigure o etanșeitate perfectă a legăturii.

Manșonul de plumb se lipește de mantaua de plumb a cablului cu care formează un înveliș unitar, așa cum se vede în figura 13—11. Înainte de a se lipi manșonul la al doilea capăt, la partea lui superioară se execută două găuri, care vor servi mai tîrziu la turnarea masei izolante. După ce masa izolantă se toarnă în manșon, aceste găuri se astupă lipindu-se cu aliaj de cositor. Pentru legătura cu pămîntul, manșonul de plumb se leagă printr-un conductor de cupru cu armătura de oțel a cablului și cu manșonul propriu-zis de fontă.

În cazul conductoarelor de aluminiu, atît la joasă, cît și la înaltă tensiune, problema lipirii capetelor de conductoare este mai dificilă, întrucît la

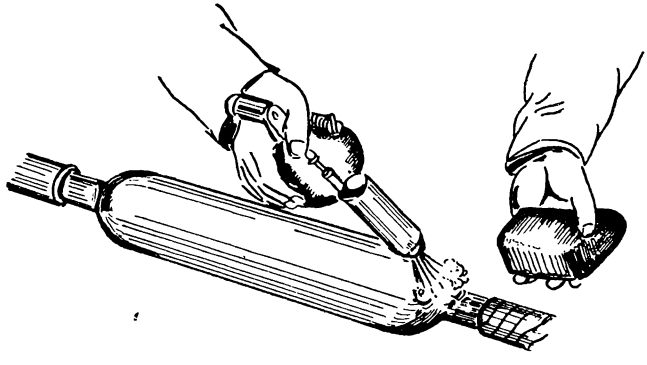
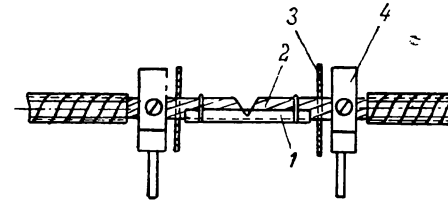


Fig. 13—11. Lipirea manșonului de plumb.



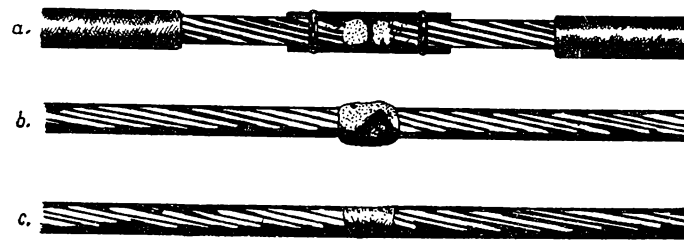


Fig. 13—12. Sudarea în formă deschisă :
1 — formă ; *2* — conductor ; *3* — ecran de protecție ; *4* — cleşte de răcire ; *a*, *b*, *c* — fazele sudării.

suprafaţa lor se formează un strat subţire de oxid de aluminiu, care împiedică realizarea contactului electric între conductoare, îngreuind îmbinarea lor. De aceea la aluminiu dă rezultate mai bune şi s-a extins, în ultimul timp, sudarea capetelor de conductoare.

Pentru ca metalul topit să nu curgă se folosesc forme speciale. Aceste forme pot fi deschise (fig. 13—12) sau închise (fig. 13—13). În ambele cazuri capetele conductoarelor trebuie degresate, curăţate şi unse cu pastă de lipit. Forma se încălzeşte la flacără oxiacetilenică pînă la topirea conductoarelor, cînd se introduce şi material de completare dintr-o vergea de aluminiu. Cleştii de răcire au rolul de a absorbi o parte din căldura produsă şi în acest mod să ferească încălzirea excesivă a izolaţiei cablului.

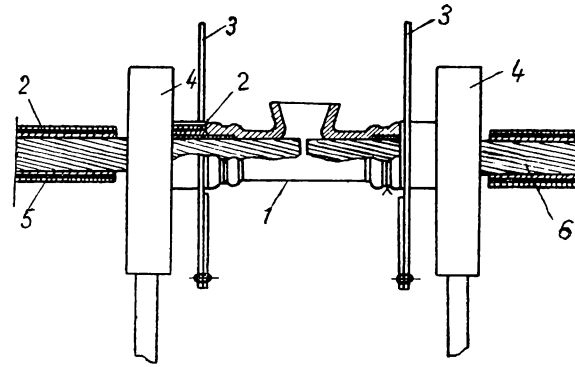


Fig. 13—13. Sudarea în formă închisă :
1 — formă ; *2* — înfăşurare în azbest ; *3* — ecran de protecţie ; *4* — cleşte de răcire ; *5* — izolaţia cablului ; *6* — conductor.

De asemenea, ecranele de protecție feresc restul cablului de o încălzire prea mare. În afară de acest mod de îmbinare se mai folosesc diferite metode ca : sudarea electrică prin rezistență de contact, sudarea prin turnare, înnădirea prin presare, lipirea cu metalizare etc.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt operațiile care se efectuează la montarea unui manșon de înnădire ?
2. Cum se procedează pentru îmbinarea diferitelor învelișuri izolante și de protecție ?
3. Cum se face lipirea manșonului de plumb ?

MONTAREA MANȘOANELOR DE DERIVAȚIE, A CUTIILOR DE DISTRIBUȚIE ȘI A CAPSULELOR DE PLUMB

1. Montarea manșoanelor de derivație

De obicei, montarea manșoanelor de derivație se face cu cablul scos de sub tensiune. În anumite cazuri operația se poate face cu cablul sub tensiune, luîndu-se măsuri speciale de protecție a muncii.

În cazul cînd montarea se face cu cablul scos de sub tensiune, diferitele faze ale lucrării, ca : desfacerea diferitelor straturi de protecție, desizolarea, prinderea clemelor, fixarea manșonului, turnarea masei izolante etc., se fac ca și la manșoanele de înnădire.

Cînd cablul se află sub tensiune, lucrătorul stă tot timpul pe o placă de cauciuc, folosește mănuși de cauciuc și este atent să nu atingă în același timp două faze sau o fază și conductorul neutru.

Pentru cutiile de distribuție, pe fundul gropii, care trebuie să aibă adîncimea potrivită, astfel încît capacul superior să vină în dreptul nivelului pămîntului, se așază o fundație formată din două straturi de cărămizi și un strat de nisip gros de 20 cm, peste care se pune cutia.

După ce s-a fixat cutia, se montează partea de jos a manșoanelor cutiei, se pregătesc cablurile (în același mod ca și la înnădire) și se fixează

de manşon printr-o brăţară cu şuruburi. Conductoarele se fixează la clemele terminale ale manşonului, se închid manşoanele şi se toarnă masa izolantă. Legătura la barele cutiei de distribuţie se face, aşa cum s-a văzut mai înainte, prin siguranţe cu mîner de bachelită sau de porţelan.

Pentru a se realiza o legătură cît mai bună la pămînt, atît carcasa de fontă a manşoanelor, cît şi cutia de distribuţie se leagă, prin conductoare lipite cu cositor, de mantalele de plumb ale cablurilor, care intră în manşon sau în cutie.

2. Montarea cutiilor terminale

Pentru cablurile de joasă tensiune se procedează în felul următor. Se socoteşte distanţa pînă la barele la care trebuie făcută legătura cablului şi, la distanţa potrivită, se face un bandaj de sîrmă. Îndepărtarea straturilor de protecţie se face la fel ca la manşoanele de înnădire, apoi se desizolează conductoarele pe o lungime de circa 30 cm. Se introduce cablul în cutia terminală şi se toarnă masa izolantă. După răcire se fixează capacul cutiei, care poate fi de tablă sau dintr-un material izolant. În cazul cînd capacul este metalic, trecerea conductoarelor se face prin nişte piese de porţelan sau din alt material izolant.

Peste izolaţia de hîrtie a conductoarelor care ies din cutie se înfăşoară o pînză lăcuită, apoi se dă cu pensula un strat de lac de bachelită.

De capetele desizolate ale conductoarelor se fixează papucii, cu ajutorul cărora se face legătura la bare.

Fixarea papucilor de conductoarele de cupru se face prin lipire (cositorire). Pentru conductoarele de aluminiu se foloseşte una din metodele arătate la manşoanele de înnădire.

La montarea cutiilor terminale uscate din plumb conductoarele nu se desizolează. După ce se îndepărtează o parte din mantaua de plumb a cablului, se introduce cutia pe la capătul conductoarelor, ca o mănuşă. Partea de jos a cutiei se lipeşte de mantaua de plumb a cablului.

Peste tuburile cutiei se înfăşoară cîteva straturi de bandă neagră izolantă, care se prelungesc cu circa 10 cm peste conductoare. Deasupra se înfăşoară un rînd de bandă lăcuită şi apoi se dă un strat de lac de bachelită. Urmează un ultim strat de sfoară uscată, peste care se dă din nou cu lac de bachelită.

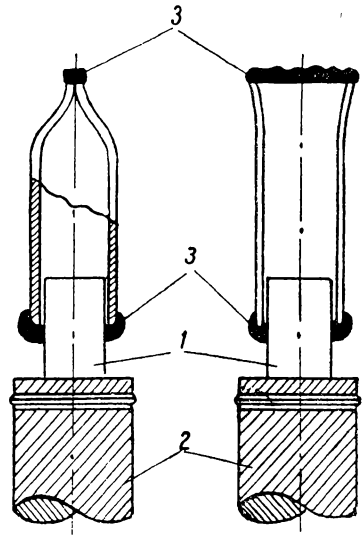


Fig. 13—14. Montarea capsulelor de plumb :
1 — manta de plumb; *2* — inveliș de iută; *3* — lipitură cu cositor.

3. Lipirea mantalelor de plumb

Un cablu depozitat, fără a fi sub tensiune, poate fi expus pătrunderii umezelii dacă nu este astupat ermetic la capete. În acest scop se lipesc la capete niște capsule de plumb (fig. 13—14), care se confecționează chiar din mantaua de plumb a cablului. În acest scop se taie un tub lung de 8—12 cm, care la un capăt se turtește și se lipește cu cositor, iar la celălalt capăt se lărgește pentru a putea pătrunde pe cablu. Se îndepărtează apoi învelișurile de protecție de pe cablu, dezgolind o porțiune din mantaua de plumb. Suprafața acesteia se curăță bine cu o cîrpă muiată în petrol. Se introduce apoi capsula și se lipește bine cu cositor de mantaua de plumb.

Întrebări recapitulative

1. Cum se procedează pentru montarea unui manșon de derivație?
2. Cum se montează o cutie de distribuție?
3. Cum se montează o cutie terminală de fontă sau oțel?
4. Cum se montează o cutie terminală de plumb?
5. Cum se montează o capsulă de plumb la capătul cablului?

Capitolul XIV

EXPLOATAREA ŞI ÎNTREŢINEREA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

CONTROLUL ŞI ÎNCERCAREA CABLURILOR

Deoarece cablurile sînt îngropate în pămînt nu pot fi controlate decît într-o mică măsură şi nu se fac săpături decît atunci cînd se ivesc defecte. Cu toate acestea, traseul cablului trebuie vizitat periodic. Este necesar să se constate dacă nu cumva cablul a fost dezgropat cu ocazia săpăturilor făcute pentru alte lucrări, dacă nu s-au ridicat construcţii pe traseul cablului sau dacă nu au avut loc anumite modificări de străzi, care afectează buna funcţionare a cablului.

La cutiile terminale se controlează starea izolatoarelor şi a cutiei în general şi se verifică dacă masa izolantă nu s-a scurs din cutia terminală, din cauza unei etanşări imperfecte sau a căldurii produse de vreun contact slab.

La punerea în funcţiune a unei instalaţii de cabluri este necesar să se controleze dacă aceasta este în bună stare.

Deoarece, după terminarea lucrării, instalaţia nu poate fi controlată decît parţial, este necesar ca în tot timpul lucrărilor de montaj să se controleze dacă execuţia s-a făcut conform tuturor regulilor tehnice.

După terminarea montajului cablul se încearcă din punct de vedere electric. Mai întîi, cu ajutorul megohmmetrului cu inductor, se verifică continuitatea conductoarelor şi se măsoară rezistenţa de izolaţie faţă de pămînt şi între conductoarele cablului.

După aceea se încearcă la tensiune înaltă, cu ajutorul unui curent redresat. În general, pentru astfel de încercări nu se foloseşte curent alternativ, deoarece, din cauza capacităţii mari a cablurilor, ar fi necesare instalaţii speciale cu tensiune înaltă şi cu putere relativ mare. Pentru acest motiv, instalaţiile de încercare cu curent redresat sînt mai simple.

Pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu (redresat) se întrebuinţează un redresor cu *kenotron*.

Kenotronul este un tub electronic compus dintr-un balon de sticlă închis ermetic, în care s-a făcut vid şi care are doi electrozi : catodul *C* format dintr-o sîrmă în spirală, şi anodul *A* format dintr-o placă rotundă (fig. 14—1).

Aparatul funcţionează astfel : la trecerea unui curent (alternativ sau continuu) prin filament, catodul devine incandescent şi din el încep să

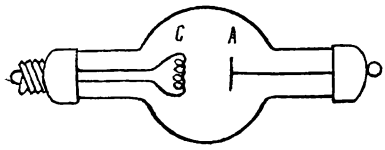


Fig. 14—1. Kenotronul.

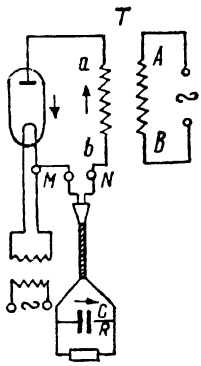


Fig. 14—2. Montaj cu un singur kenotron pentru încercarea cablurilor.

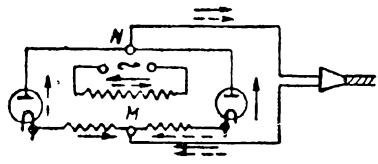


Fig. 14—3. Montaj cu două kenotroane pentru încercarea cablurilor.

se desprindă electroni, adică particule cu sarcină negativă. Dacă acum, de la o altă sursă electrică, se aplică la anod un potențial pozitiv și la catod un potențial negativ, atunci electronii sînt atrași de la catod spre anod, deci prin kenotron circulă un curent. Dacă se inversează legăturile, legînd anodul la un potențial negativ și catodul la un potențial pozitiv, electronii emiși de catod nu vor mai fi atrași de anod, deci prin kenotron nu va circula curent.

Prin urmare, kenotronul lasă curentul să treacă numai într-un singur sens, ca o supapă.

Pentru încercarea cablurilor se folosește montajul din figura 14—2. Atît kenotronul cît și cablul se leagă în serie cu bobinajul secundar $a - b$ al transformatorului T, alimentat la bornele $A - B$. În figura 14—2 sînt reprezentate simbolic capacitatea C și rezistența de izolație R a cablului, care se leagă la bornele M și N.

Montajul cu un singur kenotron se caracterizează prin faptul că lasă să treacă curentul numai în semiperioadele în care anodul are potențial pozitiv. Există montaje cu două kenotroane, care pot folosi ambele semiperioade ale curentului alternativ (fig. 14—3). În acest scop, bobinajul secundar al transformatorului de alimentare are un punct mediu, de unde se alimentează borna M a aparatului. Borna N este legată la firul care unește anozii celor două kenotroane. Cînd sensul curentului în secundarul transformatorului este dat de săgeata plină, el poate circula prin kenotronul din dreapta și prin cablu. În semiperioada următoare, cînd sensul curentului este invers (săgeata punctată), el poate trece prin kenotronul din stînga și de asemenea prin cablu. Se vede că sensul curentului care trece prin cablu este același în ambele cazuri.

Tensiunile de încercare în curent alternativ şi curent continuu, ca şi durata încercărilor pentru tipurile cele mai obişnuite de cabluri, sînt date în tabela 14—1.

Tabela 14—1

Tensiunea de încercare şi durata încercărilor prin cabluri obişnuite

Felul cablului	Felul de conectare a conductoarelor şi a mantalei de plumb	Tensiunea alternativă, kV	Tensiunea redresată, kV	Durata încercării, min
Cablu monofazat pentru 1 kV	Conductorul faţă de mantaua de plumb	$2U_n$	$5U_n$	40
Cablu trifazat cu izolaţie de centură	Fiecare fază faţă de mantaua de plumb şi celelalte două faze legate la pămînt	$1{,}65U_n$	$5U_n$	20
Cablu cu patru conductoare	Prin rotaţie cîte două faze faţă de celelalte două şi mantaua de plumb legate la pămînt	$1{,}65U_n$	$5U_n$	20

Întrebări recapitulative

1. Cu ce tensiuni se încearcă cablurile?
2. Cu ce aparat se obţine curentul continuu necesar încercării cablurilor?
3. Ce este un kenotron şi cum funcţionează el?
4. Cîte montaje cu kenotroane se folosesc la încercarea cablurilor?

AFLAREA LOCULUI DE DEFECT ÎN CABLURI

După cum s-a arătat mai înainte, datorită faptului că reţelele în cablu sînt îngropate în pămînt exploatarea lor prezintă anumite greutăţi. Una dintre aceste greutăţi este şi aflarea locului unde s-a produs un deranjament.

Pentru a nu fi nevoie să se dezgroape porţiuni mari de cablu în cazul unui deranjament, este necesar ca prin măsurări precise să se determine cît mai exact locul defectului, astfel ca să se facă săpături cît mai reduse în jurul punctului defect calculat.

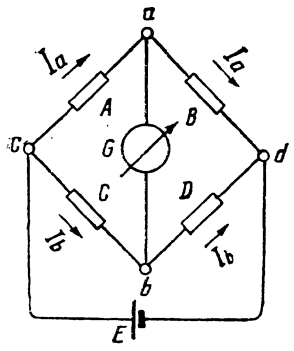


Fig. 14—4. Schema „punții" de măsură.

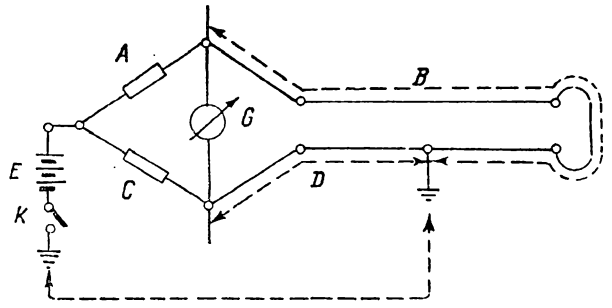


Fig. 14—5. Aflarea locului defectului la un cablu cu ajutorul punții cu galvanometru.

Metoda cea mai obișnuită pentru aflarea locului defectului constă în folosirea punții de curent continuu, a cărei schemă se vede în figura 14—4.

Cu ajutorul punții se poate determina valoarea unei rezistențe, după cum urmează :

Pe una din diagonalele punții se montează o sursă de curent E, iar pe cealaltă un galvanometru G. Dintre cele patru rezistențe din brațele punții trei sînt cunoscute, A, B și C, iar a patra D trebuie determinată. Pentru a măsura rezistența D, se variază valorile rezistențelor A, B și C, pînă cînd prin galvanometru nu mai trece nici un curent. În acest caz, în punctele a și b există același potențial, deci căderile de tensiune de la c la a și de la c la b sînt egale ; la fel sînt egale și căderile de tensiune de la a la d și de la b la d. În acest caz, se poate scrie :

$$AI_a = CI_b, \tag{14.1}$$

$$BI_a = DI_b. \tag{14.2}$$

Împărțind cele două egalități, se obține :

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}, \tag{14.3}$$

Aplicarea metodei punții la aflarea locului defect în cablu se face ca în figura 14—5. Rezistențele A și C ale punții pot fi reglate după necesitate, iar rezistențele B și D sînt formate din rezistența celor două faze ale cablului legate între ele la extremitatea opusă. Rezistența buclei $B + D$ este egală cu rezistența celor două faze, adică $B + D = 2R$.

Transformînd formula (14 · 3), se obține

$$\frac{A}{C} = \frac{B}{D}. \tag{14.4}$$

$$\frac{A+C}{C}=\frac{B+D}{D}, \tag{14.5}$$

$$\frac{A+C}{C}=\frac{2R}{D}. \tag{14.6}$$

Deoarece rezistenţa conductorului este proporţională cu lungimea lui, rezultă :

$$\frac{A+C}{C}=\frac{2L}{l_x}, \tag{14.7}$$

unde : L este lungimea totală a cablului ;

l_x — distanţa pînă la locul defectului.

De aici se deduce :

$$l_x=2L\frac{C}{A+C}. \tag{14.8}$$

Deoarece, în general, rezistenţa cablului este mică în raport cu rezistenţele A şi C ale punţii, legăturile dintre capetele cablului şi bornele aparatului trebuie să fie cît mai scurte, altfel rezistenţele firelor de legătură influenţează rezultatele măsurării.

Pentru aflarea locului defect se utilizează şi alte metode, de exemplu aceea prin care se măsoară capacitatea porţiunii de cablu cu defect. Acest lucru se realizează cu ajutorul punţilor care măsoară capacităţile folosind tensiunea alternativă. Valoarea curentului din diagonala punţii nu mai este indicată de galvanometru, ci de o cască telefonică.

De asemenea, se poate afla locul defectului unui cablu folosind metoda bazată pe inducţie (fig. 14—6). Cablul defect se alimentează prin două conductoare cu tensiune alternativă de 800—1 000 Hz, produsă de un generator special G. Curentul trece prin cablu pînă la porţiunea defectă şi prezenţa lui poate fi recepţionată cu ajutorul unei căşti telefonice T, racordată prin amplificatorul B la cadrul C. În casca telefonică se aude un sunet caracteristic numai cînd cadrul C se plimbă pe traseul cablului şi numai pînă la locul defectului. Dincolo de acest loc, nemaitrecînd curent prin cablu, nu se mai aude nici un sunet în casca telefonică.

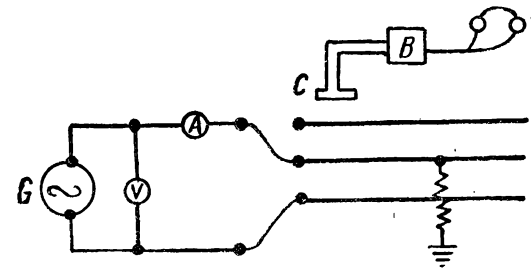


Fig. 14—6. Aflarea locului defectului la un cablu prin metoda inducţiei.

Este necesară o mare atenţie pentru a nu confunda o slăbire a sunetului cu dispariţia lui totală. De asemenea, se recomandă să se efectueze operaţia de la amîndouă capetele cablului, pentru a obţine un rezultat mai sigur.

Trebuie menţionat că, înainte de a începe măsurările în vederea aflării punctului de defect, este necesar să se viziteze traseul cablului, pentru că unele defecte se produc din cauza anumitor săpături făcute de persoane străine. De asemenea, trebuie avut în vedere că majoritatea defectelor de la cabluri se ivesc la manşoanele de legătură, asupra cărora trebuie să se îndrepte în primul rînd cercetările.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt metodele de determinare a locului defect la cabluri?
2. Cum funcţionează puntea de curent continuu?
3. În ce constă metoda inducţiei de determinare a locului defect la cabluri?

ACŢIUNEA CURENŢILOR VAGABONZI ASUPRA CABLURILOR

S-a constatat că învelişurile exterioare de plumb şi de oţel ale cablurilor suferă coroziuni importante din cauza curenţilor vagabonzi proveniţi de la tramvaie, căi ferate electrificate alimentate cu curent continuu etc.

Această acţiune poate fi urmărită în figura 14—7.

La tramvaiele electrice urbane, alimentarea firului de troleu se face de obicei de la polul pozitiv al staţiei de alimentare, iar polul negativ se leagă printr-un număr de fideri în diferite puncte ale şinelor de tramvai. În punctele de legătură se creează potenţialul cel mai scăzut al şinelor, deci către aceste puncte se vor scurge prin şine şi prin pămînt curenţii de întoarcere. Deoarece drumul parcurs de curenţii de întoarcere prezintă o oarecare rezistenţă electrică, aceştia circulă şi pe alte căi de întoarcere, printre care învelişul metalic al cablurilor electrice subterane.

Punctele în care curenţii vagabonzi ies din învelişurile cablurilor sînt cele în care se produc coroziuni ale acestor învelişuri. Aceste puncte rămîn oarecum fixe, deoarece şi punctele în care se leagă fiderii de întoarcere la şine rămîn aceleaşi un timp mai îndelungat.

Coroziunea cablurilor este cu atît mai mare, cu cît curentul care intră sau iese din înveliş este mai mare. Bineînţeles că o linie de cablu este

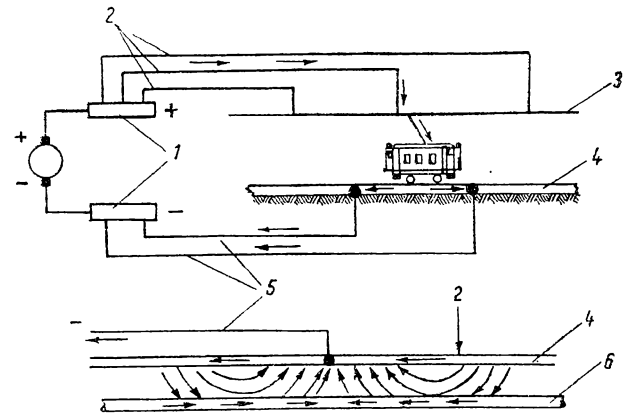


Fig. 14—7. Traseul curenţilor vagabonzi :
1 — bare de alimentare; *2* — fideri de alimentare; *3* — fir de contact; *4* — şină; *5* — fideri de întoarcere; *6* — cablu.

cu atît mai expusă, cu cît se află mai aproape de şinele de tramvai, pentru că în acest caz curenţii pot trece mai uşor de la şină la cablu.

Curenţii vagabonzi care provoacă distrugerea învelişurilor cablurilor iau naştere în special datorită construcţiei imperfecte a liniei de tramvai, însă este foarte greu să se realizeze o reţea de şine care să nu influenţeze cablurile subterane vecine.

Pentru a se reduce curenţii vagabonzi, şi deci distrugerea cablurilor electrice subterane, trebuie luate anumite măsuri, atît de către întreprinderea de exploatare a tramvaielor, cît şi de către întreprinderea de electricitate.

Astfel, întreprinderea de exploatare a tramvaielor trebuie să asigure o rezistenţă cît mai mică pentru curenţii de întoarcere, pe de o parte, prin instalarea unui număr suficient de fideri de întoarcere, iar pe de altă parte, printr-o bună execuţie a şinelor, în vederea micşorării rezistenţei electrice a acestora. Şina de tramvai (sau de cale ferată) trebuie să fie continuă din punct de vedere electric. Îmbinările între şine este preferabil să fie sudate; în cazul cînd nu se poate realiza acest lucru, este necesar să se execute între şine o legătură electrică prin eclise metalice. De asemenea, trebuie asigurată o bună continuitate electrică la macazuri, încrucişări cu calea ferată, poduri etc.

Întrebări recapitulative

1. Cum se explică apariţia curenţilor vagabonzi?
2. Cum se evită formarea curenţilor vagabonzi?
3. Ce părţi din cabluri sînt mai expuse la acţiunea curenţilor vagabonzi?

Partea a patra

CALCULUL REȚELELOR ELECTRICE

Capitolul XV

CALCULUL ELECTRIC AL REȚELELOR ELECTRICE

PIERDERILE ÎN REȚELELE ELECTRICE. CĂDEREA DE TENSIUNE

La trecerea curentului electric prin conductoarele liniilor electrice, datorită rezistențelor active și reactive ale acestora, apar pierderi de tensiune și de putere.

Conductoarele rețelelor electrice trebuie dimensionate astfel, încît pierderile, atît de putere cît și de tensiune, să nu fie prea mari. De asemenea, ele nu trebuie să se încălzească peste anumite limite. Din compararea acestor criterii, printr-un calcul tehnico-economic rezultă secțiunea cea mai potrivită pentru conductoare.

În cele ce urmează se vor studia principalele elemente de care trebuie să se țină seama în calculul rețelelor.

1. Căderea de tensiune

Se știe că atunci cînd printr-o rezistență oarecare trece un curent electric avînd o valoare I, la bornele rezistenței există o diferență de potențial

$$\Delta u = rI. \tag{15.1}$$

Această diferență de potențial se mai numește și *cădere de tensiune* în rezistența r.

Orice conductor are o anumită rezistență electrică dată de formula

$$r = \rho \frac{l}{s}, \tag{15.2}$$

în care :

ρ este rezistivitatea materialului conductorului în Ω mm^2/m ;
l — lungimea conductorului, în m ;
s — secțiunea conductorului, în mm^2.

Pentru conductoarele de cupru :

$$\rho = \frac{1}{56} = 0{,}0178 \ \Omega \text{mm}^2/\text{m}.$$

Pentru conductoarele de aluminiu :

$$\rho = \frac{1}{34} = 0{,}0295 \ \Omega \text{mm}^2/\text{m}.$$

Datorită faptului că în conductoare se produce o cădere de tensiune, la sfîrșitul liniei (la consumator) nu mai există aceeași tensiune ca la începutul liniei (la plecarea din centrală), ci una mai mică.

Astfel, dacă la începutul liniei se aplică tensiunea U (fig. 15—1), la capătul ei, la bornele receptorului R, se măsoară o tensiune U' mai mică decît U

$$U' = U - rI = U - \Delta u, \tag{15.3}$$

unde r reprezintă rezistența totală a conductoarelor de alimentare (atît a celui de plecare, cît și a celui de întoarcere).

Problema care interesează este cît de mare poate fi căderea de tensiune pe un circuit, pentru ca distribuția energiei să se poată face în bune condiții. Dacă această cădere de tensiune este prea mare, atunci tensiunea U' care se aplică receptoarelor devine prea mică și acestea nu mai pot funcționa în bune condiții. Astfel, o lampă electrică construită pentru tensiunea de 220 V produce un anumit flux luminos. Dacă în loc de 220 V i se aplică o tensiune mai mică, de exemplu 200 V, rezultă un flux luminos mai mic, deci lampa funcționează cu randament mai scăzut. De asemenea, motoarele cărora li se aplică o tensiune prea mică absorb un curent mai mare decît cel normal și se încălzesc sau nu pornesc de loc.

Din practică s-a constatat care sînt limitele admisibile pentru căderile de tensiune. Aceste limite se dau sub formă de procente din tensiunea nominală a rețelei. Astfel, pentru rețelele de distribuție de joasă tensiune

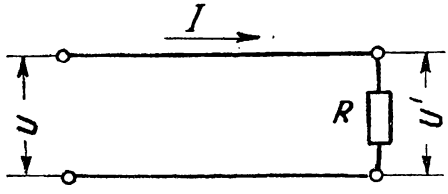


Fig. 15—1. Repartiția tensiunilor pe linie.

se recomandă ca pierderea de tensiune să fie de maximum 5% din tensiunea nominală (de exemplu, la 220 V căderea de tensiune este de cel mult $\frac{220 \cdot 5}{100} = 11$ V), iar pentru instalațiile interioare se recomandă să fie de maximum 3% pentru iluminat și 5% pentru receptoarele de forță.

Problema căderii de tensiune este ceva mai complicată în curent alternativ. Aici, linia electrică are, în afară de rezistența r, o inductanță L și o capacitate C, care depind de caracteristicile liniei, așa cum se va arăta mai departe.

Exerciții

Exemplul 1. Să se afle rezistența unui conductor de cupru cu secțiunea de 35 mm² în lungime de 70 m.

Se folosește formula

$$r = \rho \frac{l}{s}.$$

Pentru conductoarele de cupru

$$\rho = \frac{1}{56} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

deci:

$$r = \frac{70}{56 \cdot 35} = 0{,}036 \Omega.$$

Exemplul 2. Să se afle rezistența unui conductor de aluminiu, cu lungimea de 150 m, și cu diametrul de 4 mm

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 4^2}{4} = 12{,}56 \text{ mm}^2.$$

Pentru conductoarele de aluminiu

$$\rho = \frac{1}{34} = 0{,}0295 \ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

deci:

$$r = \frac{0{,}0295 \cdot 150}{12{,}56} = 0{,}35 \Omega.$$

Exemplul 3. Să se afle căderea de tensiune pe un conductor de aluminiu cu secțiunea de 6 mm², în lungime de 18 m, prin care circulă un curent de 20 A:

$$r = \rho \frac{l}{s} = \frac{18}{34 \cdot 6} = 0{,}088 \Omega;$$

$$\Delta u = rI = 0{,}088 \cdot 20 = 1{,}76 \text{ V}.$$

Exemplul 4. Care este căderea de tensiune pe un conductor de cupru cu diametrul de 3 mm, cu lungimea de 45 m, prin care circulă un curent de 38 A?

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 3^2}{4} = 7{,}1 \text{ mm}^2;$$

$$r = \rho \frac{l}{s} = \frac{45}{56 \cdot 7{,}1} = 0{,}113 \ \Omega;$$

$$\Delta u = rI = 0{,}113 \cdot 38 = 4{,}3 \text{ V}.$$

2. Pierderea de putere în rețelele electrice

La trecerea unui curent electric printr-un conductor, în afară de căderea de tensiune se produce și o *pierdere de putere,* datorită încălzirii conductorului prin efectul Joule—Lenz. Aceasta se calculează cu formula cunoscută

$$\Delta p = rI^2 \tag{15.4}$$

și se măsoară în wați (W).

Dacă se ține seama și de timpul t în care are loc pierderea de putere, rezultă pierderea de energie

$$\Delta w = \Delta pt = rI^2t. \tag{15.5}$$

Dacă se ține seama de pierderile de energie dintr-un întreg sistem energetic (linii electrice de înaltă și de joasă tensiune, transformatoare etc.) se constată că acestea reprezintă în total o cantitate de energie electrică importantă, aproximativ 8—20% din cantitatea de energie produsă în acel sistem. De aceea este foarte important să se folosească toate mijloacele pentru a reduce la minimum pierderile de putere și de energie.

În general, se recomandă ca pierderile de putere pe o linie electrică să nu depășească 5—7%.

Exerciții

Exemplul 1. Să se afle pierderea de putere într-un conductor de cupru cu diametrul de 2,5 mm, cu lungimea de 60 m, prin care circulă un curent de 16 A:

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 2{,}5^2}{4} = 4{,}9 \text{ mm}^2;$$

$$r = \rho \frac{l}{s} = 0{,}0178 \frac{60}{4{,}9} = 0{,}22 \ \Omega;$$

$$\Delta p = rI^2 = 0{,}22 \cdot 16^2 = 56{,}3 \text{ W}.$$

Exemplul 2. Care este pierderea de putere pe un conductor de aluminiu cu lungimea de 650 m, cu secțiunea de 16 mm² și prin care circulă un curent de 30 A?

$$r = \rho \frac{l}{s} = \frac{650}{34 \cdot 16} = 1{,}2\ \Omega;$$

$$\Delta p = rI^2 = 1{,}2 \cdot 30^2 = 1\,080\ \text{W} = 1{,}08\ \text{kW}.$$

CALCULUL CĂDERII DE TENSIUNE PE O LINIE SIMPLĂ DE CURENT CONTINUU CU UN SINGUR CONSUMATOR

Cazul cel mai simplu îl prezintă un circuit alimentat de la un capăt cu tensiunea U și care are un singur consumator (o singură sarcină I) la celălalt capăt, cum este cel din figura 15—1. Acesta se reprezintă schematic că în figura 15—2.

Dacă lungimea simplă a liniei este l, lungimea conductoarelor de plecare și de întoarcere este $2l$, deci rezistența totală și căderea de tensiune sînt

$$r = \frac{2\rho l}{s}, \tag{15.6}$$

$$\Delta u = rI = \frac{2\rho lI}{s}. \tag{15.7}$$

În general, curentul I, lungimea l a liniei și rezistivitatea ρ a conductoarelor sînt cunoscute. Calculul se face în două cazuri: pentru verificarea unei instalații existente și pentru dimensionare.

Verificarea căderii de tensiune la o linie existentă. În acest caz se cunoaște secțiunea s și cu ajutorul relației (15.7) se determină Δu. Cunoscîndu-se tensiunea nominală de alimentare se poate determina căderea procentuală de tensiune:

$$\Delta u\,\% = \frac{\Delta u}{U} 100 \tag{15.8}$$

Dimensionarea conductoarelor pentru o linie nouă. În acest caz nu se cunoaște s însă se admite o valoare pentru căderea de tensiune.

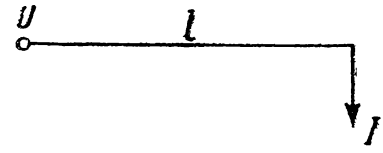


Fig. 15—2. Linie simplă cu un singur consumator.

Din formula căderii de tensiune se deduce s :

$$s = \frac{2\rho l I}{\Delta u} \cdot \tag{15.9}$$

Deoarece secțiunile conductoarelor sînt normalizate și din calcul poate rezulta o secțiune oarecare nenormalizată, se alege secțiunea normalizată imediat superioară celei rezultate din calcul.

Formulele (15.7) și (15.9) devin :

$$\Delta u = \frac{2lI}{56s}; \tag{15.10}$$

$$s = \frac{2lI}{56\Delta u}; \tag{15.11}$$

$$\Delta u = \frac{2lI}{34s}; \tag{15.12}$$

$$s = \frac{2lI}{34\Delta u} \cdot \tag{15.13}$$

Cînd în loc de valoarea I a curentului este dată puterea P a receptorului, curentul se deduce din formulele :

$$P = UI, \tag{15.14}$$

$$I = \frac{P}{U}, \tag{15.15}$$

în care P este dată în waţi, I în amperi și U în volți, apoi se introduce expresia lui I în formulele pentru determinarea lui Δu sau s.

Se pot stabili însă formule în care să se folosească direct valoarea lui P, fără a mai calcula pe I. Astfel, dacă se înlocuiește valoarea lui I din formula (15.15) în formulele (15.7) și (15.9) se obțin relațiile :

$$\Delta u = \frac{2\rho l P}{sU}; \tag{15.16}$$

$$s = \frac{2\rho l P}{U\Delta u} \cdot \tag{15.17}$$

Exerciții

Exemplul 1. O linie de curent continuu lungă de 80 m, cu conductoare de cupru avînd secțiunea $s = 10$ mm², alimentează un motor avînd o putere $P = 3$ kW, la tensiunea de 110 V. Ce cădere de tensiune se produce pe linie ?

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3\,000}{110} = 27{,}3 \text{ A}.$$

$$\Delta u = \frac{2\rho lI}{s} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 27{,}3}{56 \cdot 10} = 7{,}8 \text{ V}.$$

$$\Delta u\% = \frac{7{,}8 \cdot 100}{110} = 7{,}1\ \%.$$

Se poate calcula Δu și direct, fără a mai calcula pe I

$$\Delta u = \frac{2\rho lP}{sU} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 3\,000}{56 \cdot 10 \cdot 110} = 7{,}8 \text{ V}.$$

Exemplul 2. Ce secțiune de conductor de aluminiu trebuie să se aleagă pentru o linie lungă de 120 m, care alimentează cu tensiunea de 220 V o sarcină de 7,5 kW? Căderea de tensiune admisibilă este de 5%.

$$\Delta u = \frac{U\Delta u\%}{100} = \frac{220 \cdot 5}{100} = 11 \text{ V}.$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{7\,500}{220} = 34{,}1 \text{ A}.$$

$$s = \frac{2\rho lI}{\Delta u} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 34{,}1}{34 \cdot 11} = 21{,}9 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 25 mm², care este secțiunea normalizată imediat superioară.

CALCULUL CĂDERII DE TENSIUNE PE O LINIE SIMPLĂ DE CURENT CONTINUU CU MAI MULȚI CONSUMATORI

Acest caz este arătat schematic în figura 15—3. Considerîndu-se fiecare porțiune de linie separat și notîndu-se cu l_1, l_2, l_3 lungimile părților componente ale liniei și cu I_1, I_2, I_3 valorile curenților care trec prin porțiunile respective de linie, se pot scrie relațiile:

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3,$$

$$I_2 = i_2 + i_3,$$

$$I_3 = i_3,$$

$$\Delta u = \frac{2\rho l_1 I_1}{s_1} + \frac{2\rho l_2 I_2}{s_2} + \frac{2\rho l_3 I_3}{s_3} + \ldots$$

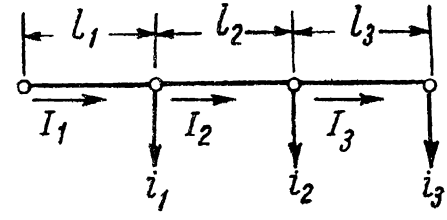


Fig. 15—3. Linie simplă cu mai mulți consumatori.

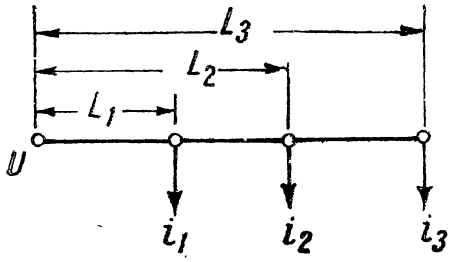


Fig. 15—4. Linie simplă cu mai mulți consumatori la care se consideră acțiunea fiecărui consumator în mod separat.

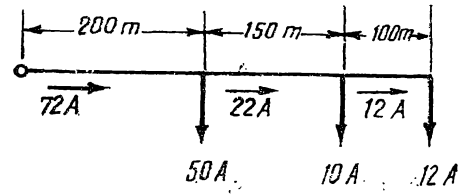


Fig. 15—5. Schema liniei

Dacă secțiunea este aceeași pe toată lungimea liniei, se obțin pentru Δu și s relații simplificate:

$$\Delta u = \frac{2\rho}{s}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + l_3 I_3 + \ldots), \tag{15.18}$$

$$s = \frac{2\rho}{\Delta u}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + l_3 I_3 + \ldots). \tag{15.19}$$

Se poate considera acțiunea fiecărui consumator în mod separat (fig. 15—4). În acest caz se obține:

$$\Delta u = \frac{2\rho L_1 i_1}{s_1} + \frac{2\rho L_2 i_2}{s_2} + \frac{2\rho L_3 i_3}{s_3} + \ldots$$

Dacă secțiunea conductorului este aceeași pe toată lungimea rezultă:

$$\Delta u = \frac{2\rho}{s}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + L_3 i_3 \ldots), \tag{15.20}$$

$$s = \frac{2\rho}{\Delta u}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + L_3 i_3 \ldots). \tag{15.21}$$

În relațiile (15.20) și (15.21) s-au considerat curenții fiecărui consumator în parte și distanța de la fiecare consumator la centrală. În calcule se pot folosi fie relațiile (15.18) și (15.19), fie relațiile (15.20) și (15.21), în ambele cazuri rezultatele fiind aceleași.

Exerciții

Exemplul 1. Să se calculeze secțiunea liniei din figura 15—5, în cazul cînd se folosesc conductoare de cupru. Tensiunea este de 220 V, iar căderea admisibilă de tensiune de 5%.

$$\Delta u = \frac{5 \cdot 220}{100} = 11 \text{ V}.$$

Cu formula (15.21) se obține :

$$s = \frac{2(200 \cdot 50 + 350 \cdot 10 + 450 \cdot 12)}{56 \cdot 11} = \frac{2(10\,000 + 3\,500 + 5\,400)}{56 \cdot 11} =$$

$$= \frac{2 \cdot 18\,900}{56 \cdot 11} = 61{,}5 \text{ mm}^2.$$

Același rezultat trebuie să se obțină și cu formula (15.19) :

$$s = \frac{2(200 \cdot 72 + 150 \cdot 22 + 100 \cdot 12)}{56 \cdot 11} = \frac{2(14\,400 + 3\,300 + 1\,200)}{56 \cdot 11} = \frac{2 \cdot 18\,900}{56 \cdot 11} = 61{,}5 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de conductor imediat superioară adică 70 mm^2.

Exemplul 2. Să se calculeze căderea de tensiune pe o linie cu lungimea de 500 m, care are un consumator $P_1 = 5$ kW la 200 m de la plecare și altul $P_2 = 8$ kW la capătul liniei. Tensiunea liniei este 220 V și conductoarele sînt de cupru 50 mm^2

$$i_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{5\,000}{220} = 22{,}7 \text{ A};$$

$$i_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{8\,000}{220} = 36{,}3 \text{ A};$$

$$L_1 = 200 \text{ m};$$
$$L_2 = 500 \text{ m}.$$

Aplicînd formula 15.20 :

$$\Delta u = \frac{2}{56 \cdot 50}(200 \cdot 22{,}7 + 500 \cdot 36{,}3) = \frac{2(4\,540 + 18\,150)}{56 \cdot 50} = \frac{2 \cdot 22\,690}{56 \cdot 50} = 16{,}2 \text{V}.$$

$$\Delta u\% = \frac{16{,}2 \cdot 100}{220} = 7{,}4\ \%.$$

Observație. Un caz special al liniei cu mai mulți consumatori îl constituie linia care alimentează consumatori mulți, apropiați între ei și situați la distanțe egale (se zice că linia are o sarcină uniform distribuită).

Pentru această linie se calculează curentul total absorbit de consumatori și se determină Δu sau s cu formulele (15.7) sau (15.9), ca și cînd ar fi un singur consumator, plasat însă nu la capătul liniei, ci la jumătatea ei (în loc să se considere în calcul lungimea l a liniei se consideră $\frac{l}{2}$ ca în exemplele 3 și 4).

Exemplul 3. Să se determine căderea de tensiune pe o linie cu conductoare de cupru, lungă de 150 m, avînd o încărcare de 12 W/m. Secțiunea conductoarelor este de 6 mm^2, iar tensiunea de alimentare de 120 V.

Puterea totală a receptoarelor este

$$P = pl = 12 \cdot 150 = 1\,800 \text{ W},$$

iar valoarea curentului

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1\,800}{120} = 15 \text{ A}.$$

Se calculează căderea de tensiune cu formula (15.7), luîndu-se însă în considerare numai jumătate din lungimea liniei, adică 75 m. Se obține :

$$\Delta u = \frac{2 \cdot 75 \cdot 15}{56 \cdot 6} = 6{,}7 \text{ V},$$

$$\Delta u\% = \frac{6{,}7 \cdot 100}{120} = 5{,}58\%.$$

Exemplul 4. Să se calculeze secțiunea unei linii de iluminat public pe o stradă lungă de 400 m, pe care sînt montate lămpi de 60 W și 110 V, la distanța de 40 m una de alta. Căderea de tensiune admisibilă este de 6%.

Numărul de lămpi este

$$n = \frac{400}{40} = 10 \text{ lămpi}.$$

Puterea totală a lămpilor :

$$P = 10 \cdot 60 = 600 \text{ W}.$$

Valoarea curentului :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{600}{110} = 5{,}46 \text{ A}.$$

Căderea de tensiune admisibilă :

$$\Delta u = \frac{6 \cdot 110}{100} = 6{,}6 \text{ V}.$$

Pentru a afla secțiunea conductoarelor liniei se aplică formula (15.9), considerîndu-se numai jumătate din lungimea liniei, adică 200 m și conductoarele de cupru :

$$s = \frac{2 \cdot 200 \cdot 5{,}46}{56 \cdot 6{,}6} = 5{,}9 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 6 mm^2.

La această secțiune, căderea de tensiune efectivă este :

$$\Delta u = \frac{2 \cdot 200 \cdot 5{,}46}{56 \cdot 6} = 6{,}5 \text{ V},$$

$$\Delta u\% = \frac{6{,}5 \cdot 100}{110} = 5{,}9\ \%.$$

CALCULUL CĂDERII DE TENSIUNE PE O LINIE DE CURENT CONTINUU RAMIFICATĂ

În general, circuitele electrice se ramifică în diferite direcții, ca și ramurile unui copac. De aceea se numesc rețele ramificate sau rețele arborescente.

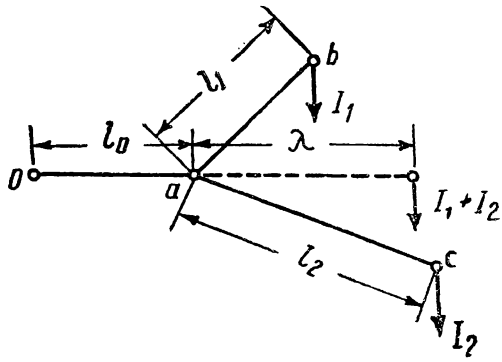


Fig. 15—6. Linie ramificată.

Dacă o astfel de rețea are ramificațiile foarte scurte, poate fi considerată ca o linie simplă cu mai mulți consumatori, fără să se mai țină seama de căderile de tensiune din ramificații.

În general însă ramificațiile au lungimi mari și în calcule trebuie să se țină seama de ele.

Dacă trebuie să se calculeze căderea de tensiune pentru o linie existentă căreia i se cunoaște secțiunea conductoarelor, problema este mai simplă. Astfel, în circuitul din figura 15—6 se calculează căderea de tensiune de la *O* la *a*, considerîndu-se curentul total $I_1 + I_2$, care trece prin această parte a liniei, apoi separat căderile de tensiune de la *a* la *b* și de la *a* la *c*. În punctul *b* căderea de tensiune totală este

$$\Delta u_{Ob} = \Delta u_{Oa} + \Delta u_{ab}, \tag{15.22}$$

iar în punctul *c* :

$$\Delta u_{Oc} = \Delta u_{Oa} + \Delta u_{ac}. \tag{15.23}$$

Problema este mai complicată atunci cînd trebuie să se calculeze secțiunile conductoarelor unei linii noi. În acest caz nu se cunoaște secțiunea nici pentru porțiunea *Oa*, nici pentru porțiunile *ab* și *ac*. De aceea, se procedează în felul următor :

Se ține seama de faptul că în punctele extreme *b* și *c* ale ramificațiilor trebuie să existe aceeași cădere de tensiune, adică $\Delta u_{Ob} = \Delta u_{Oc}$, însă, deoarece porțiunea *a* este comună, rezultă $\Delta u_{ab} = \Delta u_{ac}$.

Pentru a putea aplica formulele de calcul la aflarea secțiunilor conductoarelor, se înlocuiesc derivațiile *ab* și *ac* cu o linie fictivă de lungimea λ, care se determină cu formula

$$\lambda = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2}{I_1 + I_2}, \tag{15.24}$$

în care I_1, I_2, l_1 și l_2 au semnificațiile din figura 15—6.

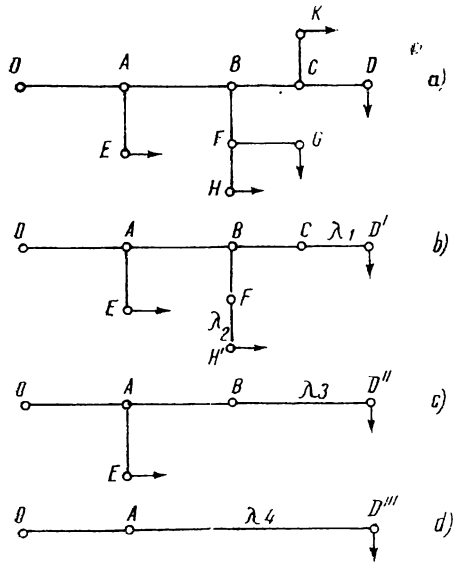


Fig. 15 7. Descompunerea liniei ramificate pentru calculul căderii de tensiune.

În acest caz, rețeaua ramificată se reduce la o rețea simplă, avînd lungimea $l_0 + \lambda$, care este parcursă pe toată lungimea ei de curentul $(I_1 + I_2)$. Secțiunea conductoarelor se determină astfel cu formula :

$$S = \frac{2\rho\,(l_0 + \lambda)\,(I_1 + I_2)}{\Delta u}, \qquad (15.25)$$

în care Δu este căderea de tensiune admisibilă.

Secțiunea astfel determinată este reală numai pentru porțiunea *oa*. Pentru a se afla secțiunile conductoarelor de pe porțiunile *ab* și *ac*, se calculează căderea de tensiune efectivă de la *o* la *a* pentru secțiunea aflată. Din totalul căderii de tensiune admisibilă se scade căderea de tensiune dintre *o* și *a* și rezultatul reprezintă căderea de tensiune din ramificații. Se pot determina astfel secțiunile ramificațiilor, ca niște linii simple cu un singur consumator la capăt.

Dacă dintr-un punct sînt trei sau mai multe ramificații, se procedează în același mod, calculînd pe λ cu formula :

$$\lambda = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3 + \dots}{I_1 + I_2 + I_3 + \dots}. \qquad (15.26)$$

Dacă rețeaua este arborescentă, cu mai multe ramificații pornind din puncte diferite, se procedează din aproape în aproape, ca mai înainte, descompunînd rețeaua în porțiuni simple. Astfel, pentru o rețea cum este cea din figura 15—7, *a* se înlocuiesc conductoarele *CD* și *CK* prin

conductorul fictiv λ_1 (CD') și conductoarele FG și FH prin conductorul fictiv $\lambda_2(FH')$. După aceea, conductoarele BD' și BH' se înlocuiesc prin conductorul fictiv $\lambda_3(BD'')$. În sfîrșit, conductoarele AD'' și AE se înlocuiesc prin $\lambda_4(AD''')$ și se calculează linia simplă cu lungimea $OD = OA + \lambda_1 + \lambda_4$, care are ca sarcină suma tuturor curenților de pe linie (fig. 15—7, *a*, *b*, *c*, *d*).

Exerciții

Exemplul 1. Să se determine căderile de tensiune în punctele *b* și *c* pentru linia din figura 15—6, unde $I_1 = 12$ A ; $I_2 = 8$ A ; $l_0 = 150$ m ; $l_1 = 80$ m ; $l_2 = 110$ m ; $s_0 = 10$ mm² ; $s_1 = 10$ mm² ; $s_2 = 6$ mm².

Se aplică formula 15.7 mai întîi pentru porțiunea *Oa*, apoi pentru porțiunile *ab* și *ac* :

$$\Delta u_{Oa} = \frac{2 \cdot 150\,(12 + 8)}{56 \cdot 10} = 10{,}7 \text{ V},$$

$$\Delta u_{ab} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 12}{56 \cdot 10} = 3{,}4 \text{ V},$$

$$\Delta u_{ac} = \frac{2 \cdot 110 \cdot 8}{56 \cdot 6} = 5{,}2 \text{ V}.$$

Căderea de tensiune de la *O* la *b* :

$$\Delta u_{Ob} = \Delta u_{Oa} + \Delta u_{ab} = 10{,}7 + 3{,}4 = 14{,}1 \text{ V}.$$

Căderea de tensiune de la *O* la *c* :

$$\Delta u_{Oc} = \Delta u_{Oa} + \Delta u_{ac} = 10{,}7 + 5{,}2 = 15{,}9 \text{ V}.$$

Dacă tensiunea de alimentare este de 220 V, căderea de tensiune procentuală este

$$\Delta u_{Ob}\,\% = \frac{14{,}1 \cdot 100}{220} = 6{,}4\ \%,$$

$$\Delta u_{Oc}\,\% = \frac{15{,}9 \cdot 100}{220} = 7{,}25\ \%.$$

Exemplul 2. Să se determine secțiunile pentru linia din figura 15—6, știind că $I_1 = 18$ A ; $I_2 = 15$ A ; $l_0 = 105$ m ; $l_1 = 120$ m ; $l_2 = 90$ m ; $U = 220$ V ; căderea de tensiune admisibilă este 5%.

Se utilizează formulele (15.24) și (15.25) :

$$\lambda = \frac{18 \cdot 120 + 15 \cdot 90}{18 + 15} = \frac{3\,510}{33} = 106 \text{ m},$$

$$\Delta u = \frac{220 \cdot 5}{100} = 11 \text{ V}.$$

$$S_{Oa} = \frac{2(105 + 106)\,(18 + 15)}{56 \cdot 11} = \frac{2 \cdot 211 \cdot 33}{56 \cdot 11} = 22{,}7 \text{ mm}^2.$$

Se alege pentru porțiunea *Oa* secțiunea normalizată de 25 mm². Căderea de tensiune reală pe această porțiune a liniei va fi

$$\Delta u_{Oa} = \frac{2 \cdot 105 \cdot 33}{56 \cdot 25} = 4{,}9 \text{ V}.$$

Căderea de tensiune pe ramificații :

$$\Delta u_{ab} = \Delta u_{ac} = \Delta u - \Delta u_{Oa} = 11 - 4{,}9 = 6{,}1 \text{ V}.$$

Pentru stabilirea secțiunilor conductoarelor pe porțiunile *ab* și *ac*, se aplică formula (15.9) :

$$s_{ab} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 18}{56 \cdot 6{,}1} = 12{,}6 \text{ mm}^2,$$

$$s_{ac} = \frac{2 \cdot 90 \cdot 15}{56 \cdot 6{,}1} = 7{,}9 \text{ mm}^2.$$

Se aleg secțiunile normalizate imediat superioare : 16 mm² pentru porțiunea *ab* și 10 mm² pentru porțiunea *ac*.

Exemplul 3. Să se determine secțiunile conductoarelor pentru rețeaua din figura 15–7, unde : $l_{OA} = 60$ m ; $l_{AB} = 40$ m ; $l_{BC} = 80$ m ; $l_{CD} = 40$ m ; $l_{CK} = 80$ m ; $l_{AE} = 50$ m ; $l_{BF} = 100$ m ; $l_{FH} = 20$ m ; $l_{FG} = 30$ m ; $l_D = 4$ A ; $I_E = 10$ A ; $I_H = 3$ A ; $I_G = 5$ A ; $I_K = 1$ A ; $U = 220$ V ; căderea de tensiune totală admisibilă este 5% ($\Delta u_{tot} = 11$ V).

Se determină lungimile fictive :

$$\lambda_1 = \frac{I_D\, l_{CD} + I_K\, l_{CK}}{I_D + I_K} = \frac{4 \cdot 40 + 1 \cdot 80}{4 + 1} = 48 \text{ m};$$

$$\lambda_2 = \frac{I_G\, l_{FG} + I_H\, l_{FH}}{I_G + I_H} = \frac{5 \cdot 30 + 3 \cdot 20}{5 + 3} = 26 \text{ m};$$

$$\lambda_3 = \frac{(I_D + I_K)(l_{BC} + \lambda_1) + (I_G + I_H)(l_{BF} + \lambda_2)}{I_D + I_K + I_G + I_H} = \frac{5(80 + 48) + 8(100 + 26)}{13} = 127 \text{ m};$$

$$\lambda_4 = \frac{(I_D + I_K + I_G + I_H)(l_{AB} + \lambda_3) + I_E\, l_{AE}}{I_D + I_K + I_G + I_H + I_E} = \frac{13(40 + 127) + 10 \cdot 50}{23} = 116 \text{ m}.$$

Se calculează secțiunea pentru $l_{OA} + \lambda_4$:

$$s_{OA} = \frac{2(60 + 116) \cdot 23}{56 \cdot 11} = 13{,}1 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 16 mm².
În continuare,

$$\Delta u_{OA} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 23}{56 \cdot 16} = 3{,}1 \text{ V},$$

$$\Delta u_{AE} = \Delta u_{AD}'' = 11 - 3{,}1 = 7{,}9 \text{ V}.$$

$$s_{AE} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 10}{56 \cdot 7{,}9} = 2{,}3 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm², aceasta fiind secțiunea minimă admisă pentru linii aeriene de cupru :

$$s_{AB} = \frac{2(40 + 127)13}{56 \cdot 7{,}9} = 10{,}2 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 10 mm² :

$$\Delta u_{AB} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 13}{56 \cdot 10} = 1{,}8 \text{ V},$$

$$\Delta u_{BD}' = \Delta u_{BH}' = 7{,}9 - 1{,}8 = 6{,}1 \text{ V},$$

$$s_{BC} = \frac{2(80 + 48)5}{56 \cdot 6{,}1} = 3{,}75 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm² :

$$\Delta u_{BC} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 5}{56 \cdot 6} = 2{,}4 \text{ V},$$

$$\Delta u_{CD} = \Delta u_{CK} = 6{,}1 - 2{,}4 = 3{,}7 \text{ V},$$

$$s_{CD} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 4}{56 \cdot 3{,}7} = 1{,}5 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm² :

$$s_{CK} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 1}{56 \cdot 3{,}7} = 0{,}77 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm² :

$$s_{BF} = \frac{2(100 + 26)8}{56 \cdot 6{,}1} = 5{,}9 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm² :

$$\Delta u_{BF} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 8}{56 \cdot 6} = 4{,}8 \text{ V},$$

$$\Delta u_{FG} = \Delta u_{FH} = 6{,}1 - 4{,}8 = 1{,}3 \text{ V},$$

$$s_{FG} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 5}{56 \cdot 1{,}3} = 4{,}1 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm² :

$$s_{FH} = \frac{2.20 \cdot 3}{56 \cdot 1{,}3} = 1{,}65 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm²:

În concluzie,

$$s_{OA} = 16 \text{ mm}^2;$$

$$s_{AB} = 10 \text{ mm}^2.$$

Restul liniei: 6 mm².

CALCULUL ELECTRIC AL UNEI LINII DE CURENT CONTINUU ALIMENTATĂ DE LA AMBELE CAPETE

Dacă un circuit este alimentat de la ambele capete, așa cum este cel din figura 15—8, calculul nu se mai poate face ca pentru liniile alimentate de la un singur capăt. În acest caz, se știe că din cele două puncte de alimentare vor pleca spre receptoare curenții I_A și I_B. Suma acestor curenți va fi egală cu suma curenților absorbiți pe linie:

$$I_A + I_B = I_1 + I_2 + I_3 + I_4. \tag{15.27}$$

Este probabil că pentru curentul I_1 curentul va veni dinspre capătul A, iar pentru I_4 dinspre capătul B. Pentru unul dintre receptoare însă curentul va veni de la ambele capete. Locul acelui receptor delimitează raza de acțiune a celor două puncte de alimentare și aici este căderea de tensiune maximă. Dacă circuitul ar fi tăiat în acel punct, rețeaua ar putea funcționa în continuare, fără nici un inconvenient, deoarece acest punct nu este traversat de nici un curent. Deci, dacă se determină I_A și I_B se poate descompune rețeaua în două linii alimentate de la un singur capăt. Pentru aceasta se folosește formula:

$$I_B = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3 + I_4 l_4}{L}. \tag{15.28}$$

Dacă se cunoaște curentul care pleacă de la un capăt, se află ușor și celălalt:

$$I_A = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 - I_B. \tag{15.29}$$

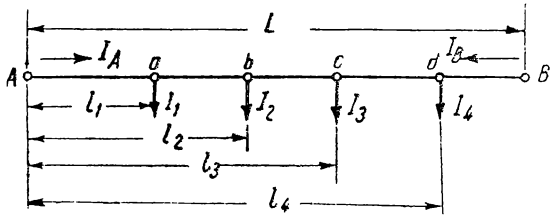


Fig. 15—8. Linie alimentată de la ambele capete.

Apoi se determină curenții din fiecare porțiune a circuitului. Între punctele A și a circulă curentul I_A; între a și b circulă curentul $I_A - I_1$ etc. Se ajunge la un moment cînd curentul rămas nu mai este suficient pentru alimentarea receptorului următor. Acesta este alimentat și din A și din B, iar următoarele absorb curentul numai din B. După aceasta, se calculează fiecare porțiune a rețelei separat.

Cele arătate mai înainte sînt valabile atunci cînd tensiunile punctelor A și B sînt egale. În cazul cînd tensiunile sînt diferite, iau naștere curenți de circulație (de la punctul cu tensiunea mai mare spre cel cu tensiunea mai mică), care se adaugă sau se scad din curenții calculați ca mai înainte, iar căderile de tensiune se calculează pentru acești curenți rezultanți. Cazurile particulare se dau mai jos.

1. Linie în buclă alimentată dintr-un singur punct

Acesta este un caz frecvent în rețelele de distribuție și este reprezentat în figura 15—9, *a*. Rezolvarea este simplă, deoarece prin desfășurarea buclei se obține un circuit alimentat de la ambele capete cu aceeași tensiune, adică tocmai cazul studiat mai înainte (fig. 15—9, *b*).

2. Circuite complexe

Un circuit complex, în buclă, cum este cel din figura 15—10, alimentat prin punctele A, B și C, se calculează descompunîndu-l în circuite alimentate de la două capete. Astfel, se calculează separat circuitele AB, BC și AC.

Fig. 15—9. Linie buclată.

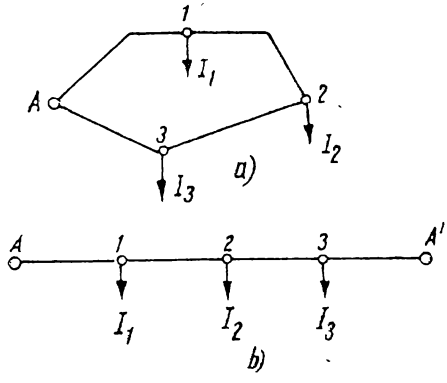
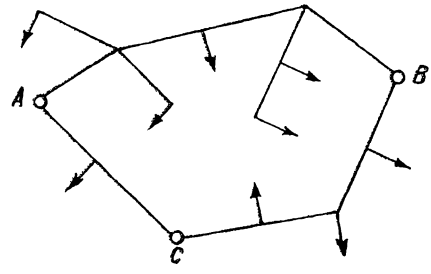


Fig. 15—10. Circuit complex.



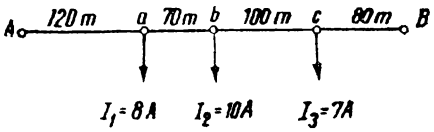


Fig. 15—11. Linie alimentată de la ambele capete

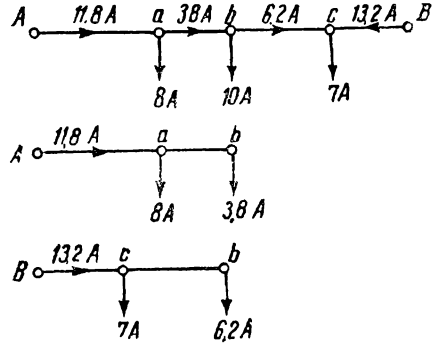


Fig. 15—12. Descompunerea liniei alimentate de la ambele capete, pentru calculul căderii de tensiune.

Trebuie remarcat că, în general, cînd se dimensionează astfel de circuite complexe, nu se calculează la început secțiunile conductoarelor, ci se aleg, pe bază de experiență, anumite secțiuni, care apoi se verifică, calculîndu-se căderile de tensiune, care nu trebuie să depășească valorile admise.

Exemplu de calcul. Să se determine secțiunile pentru linia din figura 15—11, alimentată din ambele capete. Valorile curenților și distanțele sînt cele indicate pe figură. Tensiunea este de 120 V. Căderea admisibilă de tensiune se consideră 8 %.

Se calculează curenții I_A și I_B cu formulele (15.28) și (15.29):

$$I_B = \frac{8 \cdot 120 + 10 \cdot 190 + 7 \cdot 290}{370} = 13{,}2 \text{ A.}$$

$$I_A = 8 + 10 + 7 - 13{,}2 = 11.8 \text{ A.}$$

Se calculează curenții pe diversele porțiuni ale liniei, indicați în schema din figura 15—12 (circuitul de sus).

$$I_{Aa} = 11{,}8 \text{ A,}$$

$$I_{ab} = 11{,}8 - 8 = 3{,}8 \text{ A.}$$

$$I_{Bc} = 13{,}2 \text{ A,}$$

$$I_{cb} = 13{,}2 - 7 = 6{,}2 \text{ A.}$$

Se descompune circuitul în două circuite simple, care sînt reprezentate în figura 15.12 (jos).

Se calculează circuitul *Ab*, folosindu-se formula (15.21):

$$\Delta u_{Ab} = \Delta u_{Bb} = \frac{8 \cdot 120}{100} = 9{,}6 \text{ V,}$$

$$s_{Ab} = \frac{2(120 \cdot 11{,}8 + 70 \cdot 3{,}8)}{56 \cdot 9{,}6} = 6{,}3 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea de 6 mm².

Pentru circuitul *Bb* trebuie să se ajungă la același rezultat.

$$s_{Bb} = \frac{2(80 \cdot 13{,}2 + 100 \cdot 6{,}2)}{56 \cdot 9{,}6} = 6{,}3 \text{ mm}^2;$$

CALCULUL REȚELELOR DE CURENT ALTERNATIV LA CĂDEREA DE TENSIUNE

LINII MONOFAZATE

După cum s-a văzut mai înainte, în curent alternativ, spre deosebire de curentul continuu, poate exista un defazaj între tensiune și curent. Acest defazaj este exprimat practic prin factorul de putere (cos φ). În cazul cînd nu există decît rezistențe, factorul de putere este egal cu unitatea (cos $\varphi = 1$). În cazul cînd în circuit există reactanțe inductive sau capacitive, factorul de putere este mai mic decît unitatea.

În rețelele electrice, defazajul dintre curent și tensiune este produs atît de linie, cît și de receptoare. Astfel, liniile electrice au un efect capacitiv, iar transformatoarele și motoarele electrice au un efect inductiv.

La liniile scurte de joasă tensiune și atunci cînd factorul putere este apropiat de 1 se poate neglija efectul inductiv sau capacitiv al liniei. La liniile mai lungi și mai importante trebuie să se țină seamă și de acest efect. În primul rînd însă, se va vedea cum se conduce calculul ținînd seama numai de rezistența liniei.

În ceea ce privește defazajul produs de receptoarele alimentate de linie (sarcina liniei), de el se va ține seama la calculul căderilor de tensiune.

Astfel, dacă există un defazaj între curent și tensiune, căderea de tensiune produsă de rezistența conductoarelor liniei va fi în fază cu direcția curentului. Deoarece interesează căderea de tensiune pe direcția tensiunii, se înmulțește căderea de tensiune calculată cu factorul de putere.

Acest lucru se poate vedea mai clar în diagrama vectorială din figura 15—13. În această diagramă s-a desenat curentul I și tensiunea U la consumator, defazate între ele cu unghiul φ. Căderea de tensiune $\Delta u = rI$ este în fază cu curentul și este reprezentată prin vectorul $\overline{AB}$. Însumînd pe OA cu AB se obține tensiunea U_0, care este tensiunea la începutul liniei. Adunarea însă nu se face aritmetic, ci prin compunerea vectorilor.

Dacă se trasează un cerc cu centrul în O și cu raza egală cu OB se obține pe direcția lui U, punctul C, iar segmentul OC este egal cu OB, adică AC

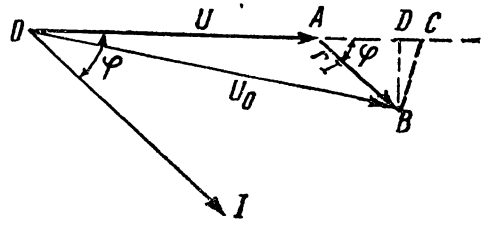


Fig. 15—13. Diagrama vectorială a tensiunilor pentru o linie de curent alternativ, ținînd seama numai de rezistența liniei.

reprezintă adevărata cădere de tensiune (diferența între U_0 și U). Dacă unghiul φ nu este prea mare, $AD \simeq AC$ și se poate scrie :

$$AD = rI \cos \varphi \tag{15.30}$$

sau

$$\Delta u = rI \cos \varphi. \tag{15.31}$$

Deci, în curent alternativ, căderea de tensiune pe o linie numai cu rezistență se determină ca și în curent continuu, înmulțind în plus rezultatul cu factorul de putere al receptoarelor.

În cazul în care factorul de putere este egal cu unitatea ($\cos \varphi = 1$) — cazul rețelelor de iluminat — calculul este identic cu cel de la curentul continuu.

Cazurile studiate mai înainte pentru curentul continuu (linie simplă, linie ramificată etc.) se pot întîlni și în curent alternativ ; rezolvarea lor se face ca și în curent continuu, cu singura deosebire că atunci cînd factorul de putere este diferit de unitate se înmulțește rezultatul cu acest factor de putere.

Deci în cazul unei linii simple cu un singur consumator,

$$\Delta u = rI \cos \varphi = \frac{2\rho l I \cos \varphi}{s}, \tag{15.32}$$

$$s = \frac{2 \rho l I \cos \varphi}{\Delta u}. \tag{15.33}$$

Aceste formule sînt valabile la liniile de joasă tensiune cu factorul de putere al consumatorului apropiat de unitate, putînd să se neglijeze astfel efectul inductiv sau capacitiv al liniei.

La liniile de înaltă tensiune este necesar să se țină seama de acest efect.

Exerciții

Exemplul 1. O linie electrică subterană monofazată, cu lungimea de 400 m, funcționînd la tensiunea de 220 V curent alternativ, alimentează cu energie un motor electric de 4 kW situat la 150 m de la plecarea liniei și un motor electric de 1,5 kW aflat la capătul liniei.

Să se afle căderea de tensiune pe linie, cunoscînd că factorul de putere al motoarelor este $\cos \varphi = 0{,}7$ și secțiunea conductoarelor este de 25 mm² — aluminiu.

$$P_1 = 4 \text{ kW}$$

$$P_2 = 1{,}5 \text{ kW}$$

$$i_1 = \frac{P_1}{U \cos \varphi} = \frac{4\,000}{220 \cdot 0{,}7} = 26 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{P_2}{U\cos\varphi} = \frac{1\,500}{220 \cdot 0{,}7} = 9{,}8 \text{ A}$$

$$L_1 = 150 \text{ m}$$

$$L_2 = 400 \text{ m}.$$

Se aplică formula (15.21) adaptată pentru curent alternativ:

$$\Delta u = \frac{2\rho(L_1 i_1 + L_2 i_2)\cos\varphi}{s} = \frac{2(150 \cdot 26 + 400 \cdot 9{,}8)0{,}7}{34 \cdot 25} = \frac{2 \cdot 7820 \cdot 0{,}7}{34 \cdot 25} = 12{,}8 \text{ V}.$$

$$\Delta u\ \% = \frac{12{,}8 \cdot 100}{220} = 5{,}8\ \%$$

Exemplul 2. O linie electrică aeriană de cupru, monofazată, cu lungimea de 200 m, alimentează un motor electric de 2,5 kW, 220 V și cos φ = 0,8. Să se determine secțiunea conductoarelor liniei, astfel încît căderea de tensiune să nu depășească 5 %.

$$P = 2{,}5 \text{ kW}.$$

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi} = \frac{2\,500}{220 \cdot 0{,}8} = 14{,}2 \text{ A}.$$

$$\Delta u = \frac{220 \cdot 5}{100} = 11 \text{ V}.$$

$$s = \frac{2\rho l I \cos\varphi}{\Delta u} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 14{,}2 \cdot 0{,}8}{56 \cdot 11} = 7{,}4 \text{ mm}^2$$

Se alege secțiunea normalizată de 10 mm².

La această secțiune, căderea de tensiune efectivă este

$$\Delta u_{ef} = \frac{2\rho l I \cos\varphi}{s} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 14{,}2 \cdot 0{,}8}{56 \cdot 10} = 8{,}1 \text{ V}.$$

$$\Delta u_{ef}\% = \frac{8{,}1 \cdot 100}{220} 3{,}7\ \%.$$

CALCULUL LINIILOR TRIFAZATE

Pentru a calcula căderea de tensiune este necesar să se cunoască mai întîi valoarea curentului.

Trebuie să se țină seama că pentru a determina căderea de tensiune între faze, căderea de tensiune de pe o fază se însumează cu căderea de tensiune de pe altă fază. Adunarea nu se face însă aritmetic, ci geometric, astfel că:

$$\Delta u = \sqrt{3}\Delta u_f = 1{,}73\ \Delta u_f. \qquad (15.34)$$

Înlocuind valoarea lui Δu_f, se obține

$$\Delta u = \frac{1{,}73\rho l I \cos\varphi}{s} \tag{15.35}$$

și se determină valoarea secțiunii

$$s = \frac{1{,}73\rho l I \cos\varphi}{\Delta u}. \tag{15.36}$$

Deci calculul se face la fel ca în curent continuu, cu deosebirea că în loc de coeficientul 2 apare coeficientul 1,73 și factorul de putere cos φ.

La calculul liniilor trifazate cu conductor neutru secțiunea calculată se referă la cele trei conductoare active. Pentru conductorul neutru se ia o secțiune mai mică, deoarece prin neutru trece doar curentul de dezechilibru între faze.

S-a arătat mai înainte că la liniile lungi trebuie să se țină seama și de inductanța și de capacitatea proprie a liniei. În acest caz, calculele sînt mai complicate. În practică însă se poate calcula, așa cum s-a arătat mai înainte, fără a se ține seama de inductanța și de capacitatea proprie a liniei, iar la sfîrșitul calculului se aplică un coeficient de corecție, care este dat în tabelele 15—1 și 15—2.

Tabela 15—1

Coeficienții de corecție pentru calculul căderii de tensiune în liniile aeriene de cupru și de aluminiu

Distanța dintre conductoare, cm	cos φ	*Secțiunea conductorului (funie), în mm²*									
		10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
40	0,5	1,33	1,50	1,74	2,01	2,38	2,80	3,46	3,99	4,66	5,44
	0,6	1,25	1,39	1,57	1,78	2,07	2,38	2,89	3,30	3,82	4,41
	0,7	1,12	1,30	1,43	1,59	1,82	2,06	2,45	2,76	3,15	3,61
	0,8	1,14	1,22	1,32	1,44	1,60	1,78	2,06	2,30	2,58	2,92
	0,9	1,09	1,14	1,21	1,28	1,39	1,50	1,69	1,84	2,02	2,24
80	0,5	1,37	1,57	1,84	2,15	2,59	3,07	3,84	4,47	5,27	6,13
	0,6	1,29	1,44	1,65	1,89	2,22	2,59	3,19	3,67	4,28	4,98
	0,7	1,22	1,33	1,49	1,68	1,93	2,22	2,67	3,05	3,51	4,05
	0,8	1,16	1,25	1,36	1,50	1,69	1,90	2,23	2,50	2,85	3,24
	0,9	1,10	1,16	1,23	1,32	1,44	1,58	1,79	1,97	2,19	2,45
120	0,5	1,40	1,50	1,90	2,23	2,70	3,23	4,07	4,76	5,62	6,62
	0,6	1,30	1,47	1,69	1,95	2,31	2,72	3,36	3,89	4,56	5,32
	0,7	1,23	1,36	1,53	1,73	2,00	2,31	2,81	3,21	3,72	4,31
	0,8	1,17	1,26	1,39	1,53	1,74	1,97	2,33	2,63	3,00	3,43
	0,9	1,11	1,17	1,25	1,34	1,48	1,62	1,86	2,05	2,29	2,57

Pentru cos $\varphi = 1$, coeficientul de corecție este întotdeauna egal cu 1.

Tabela 15—2

Coeficienții de corecție pentru calculul căderii de tensiune la cablurile subterane de cupru

Tensiunea nominală a cablului, kV	cos φ	*Secțiunea conductorului de cupru, în mm²*				
		25	50	95	120	185
3	0,5	1,205	1,379	1,669	1,840	2,261
	0,6	1,157	1,291	1,517	1,644	1,965
	0,7	1,120	1,223	1,349	1,493	1,740
	0,8	1,089	1,164	1,298	1,363	1,546
	0,9	1,057	1,106	1,192	1,235	1,352
6	0,5	1,227	1,414	1,727	1,892	2,308
	0,6	1,174	1,317	1,556	1,682	2,000
	0,7	1,133	1,243	1,426	1,522	1,766
	0,8	1,098	1,179	1,318	1,384	1,564
	0,9	1,063	1,116	1,203	1,248	1,365
10	0,5	1,255	1,436	1,770	1,926	2,392
	0,6	1,193	1,334	1,590	1,716	2,066
	0,7	1,150	1,256	1,452	1,550	1,816
	0,8	1,110	1,189	1,329	1,406	1,602
	0,9	1,071	1,122	1,215	1,262	1,389
35	0,5	--	1,615	2,011	2,256	3,390
	0,6	--	1,476	1,798	1,960	2,830
	0,7		1,364	1,612	1,734	2,402
	0,8	—	1,269	1,451	1,543	2,032
	0,9	--	1,174	1,291	1,351	1,667

Exerciții

Exemplul 1. O linie aeriană trifazată cu conductoare de cupru având secțiunea de 16 mm² lungă de 450 m, alimentează un motor electric de 14 kW la tensiunea 380/220 V. Factorul de putere al motorului este 0,75. Să se determine căderea de tensiune pe linie :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi} = \frac{14\,000}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}75} = 28{,}4 \text{ A},$$

$$\Delta u = \frac{1{,}73\rho l I \cos\varphi}{s} = \frac{1{,}73 \cdot 450 \cdot 28{,}4 \cdot 0{,}75}{56 \cdot 16} = 18{,}5 \text{ V}.$$

Pentru a ține seama de coeficienții de corecție din tabela 15—1 se consideră distanța dintre conductoare egală cu 80 cm. La secțiunea de 16 mm², pentru cos φ = 0,7 se găsește coeficientul 1,33, iar pentru cos φ = 0,8 coeficientul 1,25.

Pentru 0,75 se ia media, adică

$$k = \frac{1{,}33 + 1{,}25}{2} = 1{,}29.$$

Rezultă :

$$\Delta u' = 1{,}29 \cdot 18{,}5 = 23{,}8 \text{ V},$$

$$\Delta u' \% = \frac{23{,}8 \cdot 100}{380} = 6{,}3 \%.$$

Exemplul 2. O linie aeriană de cupru alimentează două motoare electrice trifazate : unul de 4 kW aflat la distanța de 150 m, iar celălalt de 10 CP aflat la 350 m de punctul de plecare al liniei.

Tensiunea este 220/127 V. Motoarele au un factor de putere egal cu 0,8.

Să se determine secțiunea liniei, căderea admisibilă de tensiune fiind de 6 %.

$$\Delta u = \frac{220 \cdot 6}{100} = 13{,}2 \text{ V},$$

$$P_1 = 4 \text{ kW},$$

$$i_1 = \frac{P}{1{,}73\, U \cos \varphi} = \frac{4\,000}{1{,}73 \cdot 220 \cdot 0{,}8} = 13{,}1 \text{ A},$$

$$P_2 = 0{,}736 \cdot 10 = 7{,}36 \text{ kW},$$

$$i_2 = \frac{7\,360}{1{,}73 \cdot 220 \cdot 0{,}8} = 24{,}2 \text{ A}.$$

Distribuția se reprezintă schematic în figura 15—14.

Pentru determinarea secțiunii se aplică formula (15.19), adaptată pentru curent alternativ trifazat :

$$s = \frac{1{,}73 \rho (I_1 l_1 + I_2 l_2) \cos \varphi}{\Delta u} = \frac{1{,}73 (37{,}3 \cdot 150 + 24{,}2 \cdot 200) 0{,}8}{56 \cdot 13{,}2} = 19{,}6 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 25 mm^2.

Verificînd căderea de tensiune se obține

$$\Delta u = \frac{1{,}73 \rho (I_1 l_1 + I_2 l_2) \cos \varphi}{s} = \frac{1{,}73 (37{,}3 \cdot 150 + 24{,}2 \cdot 200) 0{,}8}{56.23} = 10{,}3 \text{ V}$$

Aplicînd coeficientul de corecție, care pentru $\cos \varphi = 0{,}8$ și $s = 25$ mm^2 și distanța între conductoare de 80 cm este 1,36 se obține :

$$\Delta u = 10{,}3 \cdot 1{,}36 = 14 \text{ V},$$

$$\Delta u \% = \frac{14 \cdot 100}{220} = 6{,}3 \% \cong 6 \%.$$

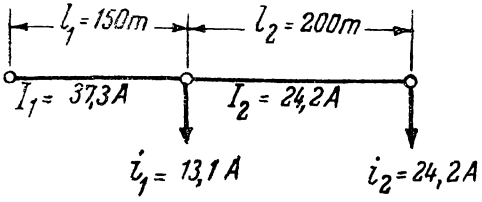


Fig. 15—14. Schema liniei pentru exemplul 2

Exemplul 3. O linie subterană trifazată alimentează cu energie electrică abonații de pe o stradă lungă de 600 m. Încărcarea medie pe această stradă este de 40 W/m. Tensiunea rețelei este 208/120 V. Să se determine secțiunea liniei astfel încît căderea de tensiune să nu depășească 4 % :

$$P = 600 \cdot 40 = 24\,000 \text{ W} = 24 \text{ kW},$$

$$\Delta u = \frac{4 \cdot 208}{100} = 8{,}32 \text{ V},$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi} = \frac{24\,000}{1{,}73 \cdot 208 \cdot 1} = 66{,}8 \text{ A}.$$

Fiind vorba de o linie cu sarcina uniform distribuită, calculul se va face ca și pentru o linie cu o sarcină concentrată, însă pentru o lungime egală cu jumătate din lungimea reală a liniei :

$$s = \frac{1{,}73\, \varrho l I \cos\varphi}{\Delta u} = \frac{1{,}73 \cdot 300 \cdot 66{,}8 \cdot 1}{56 \cdot 8{,}32} = 74{,}5 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 95 mm^2.

Exemplul 4. Să se determine secțiunea unei linii trifazate cu conductor neutru, alimentată de la ambele capete cu tensiunea de 380/220 V.

Sarcinile și distanțele sînt indicate în figura 15—15. Factorul de putere cos $\varphi = 0{,}9$. Căderea de tensiune admisibilă este de 3%.

În primul rînd se determină curenții de la capete, cu formulele (15.28) și (15.29) :

$$I_B = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3}{L} = \frac{30 \cdot 200 + 20 \cdot 280 + 22 \cdot 460}{570} = 38{,}1 \text{ A},$$

$$I_A = 30 + 20 + 22 - 38{,}1 = 33{,}9 \text{ A}.$$

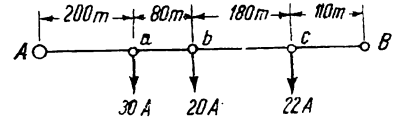
Se descompune circuitul în două circuite simple *Ab* și *Bb*. Curenții pe diferitele porțiuni ale circuitelor sînt :

$$I_{Aa} = 33{,}9 \text{ A},$$

$$I_{ab} = 33{,}9 - 30 = 3{,}9 \text{ A},$$

$$I_{Bc} = 38{,}1 \text{ A},$$

$$I_{cb} = 38{,}1 - 22 = 16{,}1 \text{ A}.$$



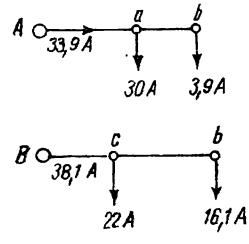


Fig. 15—15. Schema liniei pentru exemplul 4

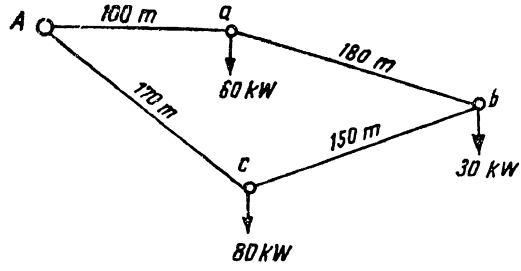


Fig. 15—16. Schema liniei pentru exemplul 6

Se calculează secțiunea pentru circuitul Ab :

$$\Delta u = \frac{380 \cdot 3}{100} = 11{,}4 \text{ V},$$

$$s_{Ab} = \frac{1{,}73\rho\,(I_1 l_1 + I_2 l_2)\cos\varphi}{\Delta u} = \frac{1{,}73(33{,}9 \cdot 200 + 3{,}9 \cdot 80)0{,}9}{56 \cdot 11{,}4} = 17{,}2 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 25 mm².

Pentru circuitul *Bb* rezultatul trebuie să fie același :

$$s_{Bb} = \frac{1{,}73(38{,}1 \cdot 110 + 16{,}1 \cdot 180)0{,}9}{56 \cdot 11{,}4} = 17{,}2 \text{ mm}^2.$$

Exemplul 5. Un cablu alimentează în buclă mai mulți consumatori, așa cum se vede în figura 15—16. Secțiunea cablului de cupru este de 35 mm². Tensiunea este 500 V, iar factorul de putere al consumatorilor este 0,8.

Să se determine căderea de tensiune pe cablu.

Se calculează în primul rînd valoarea curenților :

$$I_a = \frac{P_a}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{60\,000}{1{,}73 \cdot 500 \cdot 0{,}8} = 88{,}6 \text{ A},$$

$$I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{30\,000}{1{,}73 \cdot 500 \cdot 0{,}8} = 43{,}3 \text{ A},$$

$$I_c = \frac{P_o}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{80\,000}{1{,}73 \cdot 500 \cdot 0{,}8} = 115{,}5 \text{ A}.$$

Se consideră circuitul *Ac* alimentat de la două capete și se calculează curenții care pleacă din *A* pe cele două direcții, cu formulele (15.28) și (15.29) :

$$I_{Ac} = \frac{86{,}6 \cdot 100 + 43{,}3 \cdot 280 + 115{,}5 \cdot 430}{600} = 117{,}2 \text{ A},$$

$$I_{Aa} = 86{,}6 + 43{,}3 + 115{,}5 - 117{,}2 = 128{,}2 \text{ A},$$

$$I_{ab} = 128{,}2 - 86{,}6 = 41{,}6 \text{ A},$$

$$I_{cb} = 117{,}2 - 115{,}5 = 1{,}7 \text{ A}.$$

Punctul de despărțire a rețelelor simple (punctul de tensiune minimă) este în c.

Întrucît pe oricare din părțile buclei s-ar calcula căderea de tensiune s-ar obține același rezultat, este mai simplu să se facă calculul pe porțiunea Ac. Se obține :

$$\Delta u = \frac{1{,}73\,\rho l_{Ac} I_{Ac} \cos\varphi}{s} = \frac{1{,}73 \cdot 170 \cdot 117{,}2 \cdot 0{,}8}{56 \cdot 35} = 14 \text{ V},$$

$$\Delta u\ \% = \frac{14 \cdot 100}{500} = 2{,}8\ \%$$

Căderea de tensiune este sub limita admisă de 5 %, deci rețeaua funcționează în bune condiții.

CALCULUL REȚELELOR LA PIERDEREA DE PUTERE

Pierderile de putere într-o linie electrică sînt proporționale cu rezistența liniei și cu pătratul curentului care trece prin linie.

La o linie de curent continuu, ținînd seama că există două conductoare, formula care dă pierderea de putere se poate scrie

$$\Delta p = 2rI^2 = \frac{2\rho l I^2}{s} \tag{15.37}$$

În același timp, pentru ca pierderile de putere să nu fie prea mari, se fixează întotdeauna procentul maxim din puterea totală pe care pierderile trebuie să nu-l depășească. În general, acest procent nu trebuie să depășească 7 %.

Astfel, se poate scrie

$$\Delta p = \frac{aP}{100}, \tag{15.38}$$

unde : a este procentajul de pierderi ;

Δp — pierderile de putere, în W ;

P — puterea totală transportată, în W.

Înlocuind valoarea puterii

$$P = UI, \tag{15.39}$$

se obține

$$\Delta p = \frac{a\,UI}{100}. \tag{15.40}$$

Dacă se egalează cele două expresii ale lui Δp, se obține

$$\frac{2\rho l I^2}{s} = \frac{a\,UI}{100}. \tag{15.41}$$

Se poate simplifica cu I și se află secțiunea

$$s = \frac{200\,\rho l I}{a U} \cdot \tag{15.42}$$

Formula 15.42 este valabilă în curent continuu sau în curent alternativ monofazat, pentru $\cos\varphi = 1$. Pentru alte valori ale lui $\cos\varphi$ se aplică relația

$$s = \frac{200\,\rho l I}{a U \cos\varphi} \cdot \tag{15.43}$$

În curent alternativ trifazat formula devine

$$s = \frac{173\,\rho l I}{a U \cos\varphi} \cdot \tag{15.44}$$

Dacă în loc de curentul I se folosește puterea activă P, se obține :

— în curent continuu,

$$s = \frac{200\,\rho l P}{a U^2}\,; \tag{15.45}$$

— în curent alternativ monofazat,

$$s = \frac{200\,\rho l P}{a U^2 \cos^2\varphi}\,; \tag{15.46}$$

— în curent alternativ trifazat,

$$s = \frac{100\,\rho l P}{a U^2 \cos^2\varphi} \cdot \tag{15.47}$$

În general, liniile se calculează la căderea de tensiune. După aceea, se face verificarea pierderilor de putere, însă numai la liniile mai importante, în special la liniile de transport.

Exemplul 1. Să se determine pierderea de putere pe o linie de curent continuu lungă de 150 m, cu conductoare de cupru de 25 mm², care transportă o putere de 12 kW la tensiunea de 220 V :

$$r = \frac{\rho l}{s} = \frac{150}{56 \cdot 25} = 0{,}107\ \Omega$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{12\,000}{220} = 54{,}6\ \text{A},$$

$$\Delta p = 2 r I^2 = 2 \cdot 0{,}107 \cdot 54{,}6^2 = 636\ \text{W}.$$

$$a = \frac{100\,\Delta p}{P} = \frac{100 \cdot 0{,}636}{12} = 5{,}3\ \%.$$

Exemplul 2. Să se determine pierderea de putere pe o linie trifazată de curent alternativ lungă de 5 km, cu conductoare de cupru de 16 mm², care transportă o putere de 250 kW la tensiunea de 6 kV, cu factorul de putere $\cos\varphi = 0{,}7$.

$$r = \frac{\rho l}{s} = \frac{5\,000}{56 \cdot 16} = 5{,}6\ \Omega$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{250\,000}{1{,}73 \cdot 6\,000 \cdot 0{,}7} = 34{,}4 \text{ A},$$

$$\Delta p = 3rI^2 = 3 \cdot 5{,}6 \cdot 34{,}4^2 = 19\,800 \text{ W} = 19{,}8 \text{ kW},$$

$$a = \frac{100\,\Delta p}{P} = \frac{19{,}8 \cdot 100}{250} = 7{,}9\ \%$$

Exemplul 3. Să se determine secțiunea conductoarelor pentru o linie subterană de 3 kV, care transportă pe o distanță de 4,5 km o putere de 200 kW sub $\cos\varphi = 0{,}75$, astfel ca pierderea de putere să nu depășească 7 %.

Se află I și apoi se aplică formula (15.44) :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{200\,000}{1{,}73 \cdot 3\,000 \cdot 0{,}75} = 51{,}3 \text{ A},$$

$$s = \frac{173\rho l\, I}{aU\cos\varphi} = \frac{173 \cdot 4\,500 \cdot 51{,}3}{56 \cdot 7 \cdot 3\,000 \cdot 0{,}750} = 45{,}2 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 50 mm².

Se poate folosi și direct formula (15.47), fără a se mai calcula valoarea lui I :

$$s = \frac{102\rho l P}{aU^2\cos^2\varphi} = \frac{100 \cdot 4\,500 \cdot 200\,000}{56 \cdot 7 \cdot 3\,000^2 \cdot 0{,}75^2} = 45{,}2 \text{ mm}^2.$$

CALCULUL LINIILOR DE TRANSPORT

La noi în țară se construiesc numeroase linii electrice de transport de 35, 60, 110, 220 și 400 kV. Calculul lor este laborios și necesită cunoștințe superioare de electrotehnică și matematici, depășind cadrul acestui manual. Totuși, în continuare se dau principalele fenomene și probleme de calcul care apar în cazul liniilor de transport.

1. Alegerea tensiunii

Prima problemă care se pune la proiectarea unei linii electrice este alegerea tensiunii sub care va funcționa această linie.

Pierderile de putere și de energie sînt cu atît mai mici, cu cît tensiunea este mai mare sau, mai exact, pentru o anumită putere care trebuie transportată, pierderile de putere sînt invers proporționale cu pătratul tensiunii. În același timp, la o anumită putere, cu cît tensiunea este mai mare, cu atît valoarea curentului este mai mică, deci căderile de tensiune sînt mai mici.

Rezultă că la o tensiune mai mare, conductoarele pot avea o secțiune mai mică și costul lor scade.

În același timp trebuie să se țină seama că la creșterea tensiunii costul izolatoarelor crește, iar distanțele între conductoare mărindu-se, se scumpesc într-o oarecare măsură și stîlpii. De asemenea, o dată cu mărirea tensiunii crește și costul aparatelor electrice din stațiile de transformare: întrerupătoare, separatoare, transformatoare etc.

Deci, pentru anumite elemente ale instalațiilor, costul scade o dată cu creșterea tensiunii; pentru altele însă crește. În această situație există bineînțeles o tensiune pentru care costul total al liniei este cel mai mic. Un calcul tehnico-economic arată întotdeauna care este valoarea cea mai potrivită pentru tensiunea de funcționare a unei linii.

Calculul tehnico-economic este de multe ori ușurat de anumite situații de ordin practic. Astfel, pentru a alimenta un consumator situat în apropierea unei stații de 6 kV este de la început indicat să se folosească tensiunea de 6 kV, disponibilă în stație. Altădată, faptul că există unele aparate de o anumită tensiune determină alegerea acelei tensiuni.

De asemenea, la alegerea tensiunii unei rețele trebuie să se țină seama de tensiunile normalizate. Conform STAS 930-50 aceste tensiuni sînt: 3 000, 6 000, 10 000, 15 000, 35 000, 110 000 și 220 000 V.

Pentru alegerea tensiunii există anumite formule practice, care țin seama de puterea care trebuie transportată și de distanța la care ea se transportă. Se poate considera, cu totul aproximativ, că tensiunea unei linii de transport, exprimată în kilovolți, este egală cu lungimea acelei linii exprimată în kilometri:

$$U_{kV} = L_{km} \tag{15.48}$$

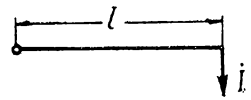
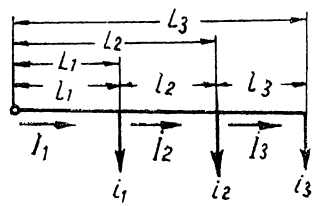
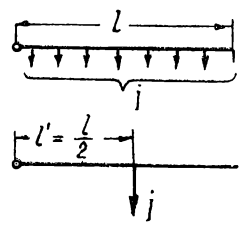
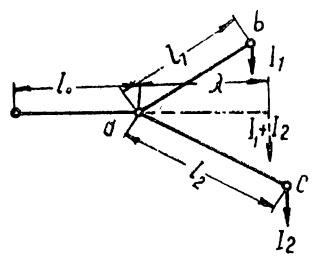
Tensiunile de 6 și 15 kV se folosesc pentru distribuția pe distanțe mijlocii (5—20 km).

Pentru distanțe și puteri mari se folosesc tensiunile de 35, 60, 110, 220 și 400 kV.

2. Căderea de tensiune pe linie

Pentru liniile de transport se folosesc mult conductoare combinate de oțel-aluminiu. În general, rezistența electrică a acestor conductoare nu se calculează, ci se dă în tabele direct în ohmi pentru un kilometru lungime

Recapitularea formulelor de calcul ale rețelelor la căderea de tensiune

Felul liniei și al consumatorilor	Schema	Formulele de calcul		
		Curent continuu	Curent alternativ monofazat	Curent alternativ trifazat
Linie simplă cu un singur consumator		$\Delta u = \frac{2\rho l I}{s}$ $s = \frac{2\rho l I}{\Delta u}$	$\Delta u = \frac{2\rho l I \cos\varphi}{s}$ $s = \frac{2\rho l I \cos\varphi}{\Delta u}$	$\Delta u = \frac{1{,}73\rho l I \cos\varphi}{s}$ $s = \frac{1{,}73\rho l I \cos\varphi}{\Delta u}$
Linie simplă cu mai mulți consumatori		$\Delta u = \frac{2\rho}{s}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)$ $s = \frac{2\rho}{\Delta u}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)$ sau $\Delta u = \frac{2\rho}{s}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)$ $s = \frac{2\rho}{\Delta u}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)$	$\Delta u = \frac{2\rho}{s}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)\cos\varphi$ $s = \frac{2\rho}{\Delta u}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)\cos\varphi$ sau $\Delta u = \frac{2\rho}{s}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)\cos\varphi$ $s = \frac{2\rho}{\Delta u}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)\cos\varphi$	$\Delta u = \frac{1{,}73\rho}{s}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)\cos\varphi$ $s = \frac{1{,}73\rho}{\Delta u}(l_1 I_1 + l_2 I_2 + \ldots)\cos\varphi$ sau $\Delta u = \frac{1{,}73\rho}{s}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)\cos\varphi$ $s = \frac{1{,}73\rho}{\Delta u}(L_1 i_1 + L_2 i_2 + \ldots)\cos\varphi$
Linie simplă cu sarcină uniform distribuită		$\Delta u = \frac{2\rho l' I}{s}$ $s = \frac{2\rho l' I}{\Delta u}$	$\Delta u = \frac{2\rho l' I \cos\varphi}{s}$ $s = \frac{2\rho l' I \cos\varphi}{\Delta u}$	$\Delta u = \frac{1{,}73\rho l' I \cos\varphi}{s}$ $s = \frac{1{,}73\rho l' I \cos\varphi}{\Delta u}$
Linie ramificată		$\Delta u_{ob} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ab}$ $\Delta u_{oc} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ac}$ $\lambda = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2}{I_1 + I_2}$ $s = \frac{2\rho(l_o + \lambda)(I_1 + I_2)}{\Delta u}$	$\Delta u_{ob} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ab}$ $\Delta u_{oc} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ac}$ $\lambda = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2}{I_1 + I_2}$ $s = \frac{2\rho(l_o + \lambda)(I_1 + I_2)\cos\varphi}{\Delta u}$	$\Delta u_{ob} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ab}$ $\Delta u_{oc} = \Delta u_{oa} + \Delta u_{ac}$ $\lambda = \frac{I_1 l_1 + I_2 l_2}{I_1 + I_2}$ $s = \frac{1{,}73\rho(l_o + \lambda)(I_1 + I_2)\cos\varphi}{\Delta u}$

Notă: La liniile lungi de curent alternativ, pentru a ține seama de inductanța și capacitatea proprie a liniei se aplică în plus coeficientul de corecție k dat în tabelele 15—1 și 15—2.

de conductor. Pentru a afla rezistența unei linii, se înmulțește valoarea dată în tabele cu lungimea liniei. În afară de rezistența liniei, în calculul pierderilor de tensiune se ia în considerare și valoarea reactanței.

Reactanța inductivă la liniile de joasă tensiune, în general, se poate neglija, avînd valori mici. La liniile de înaltă tensiune reactanța inductivă are valori de același ordin de mărime ca și rezistența, uneori fiind chiar mai mare decît aceasta.

Reactanța inductivă este $X = L\omega$, unde L este inductanța liniei și ω pulsația curentului alternativ. Pentru $f = 50$ Hz pulsația este $\omega = 2\pi f = 314$ rad/s. Reactanța se dă în ohmi pe kilometrul de lungime a liniei și depinde de raza conductorului și de distanța dintre faze : cu cît raza conductorului este mai mare, cu atît reactanța inductivă este mai mică ; cu cît distanța între faze este mai mare, cu atît reactanța inductivă este mai mare.

Reactanța inductivă a unei linii se poate calcula cu ajutorul unor formule nu prea complicate, care însă nu sînt date aici. Valorile obișnuite sînt cuprinse între 0,3 și 0,5Ω/km. Pentru linii de tensiune joasă sau medie se obțin valori sub 0,4 Ω/km, iar pentru linii peste 35 kV, unde distanțele între faze sînt mari, se obțin valori peste 0,4Ω/km. În calculele aproximative se poate folosi suficient de corect valoarea medie de 0,4Ω/km, fără a se comite erori prea mari.

La calculele mai exacte se ține seama și de efectul capacitiv al liniei (capacitanța) și de pierderile în izolația liniei (perditanța). În general, în calculele curente care se fac pentru linii cu tensiuni pînă la 15 kV se ține seama numai de rezistență și de reactanță inductivă.

Pentru astfel de linii căderea de tensiune este

$$\Delta u = 1{,}73\ I\ (R\cos\varphi + L\omega\sin\varphi), \tag{15.48}$$

unde coeficientul 1,73 apare pentru că liniile de transport sînt întotdeauna trifazate, iar R și $L\omega$ reprezintă rezistența și reactanța inductivă pentru o fază a liniei.

În general, la liniile de înaltă tensiune se admit căderi de tensiune ceva mai mari decît la liniile de joasă tensiune, deoarece căderea de tensiune poate fi compensată într-o oarecare măsură prin variația raportului de transformare al transformatoarelor și prin reglajul tensiunii la generatoare.

Pentru liniile de înaltă tensiune se admit căderi de tensiune pînă la 10%.

3. Pierderea de putere

La liniile de transport, puterile transmise fiind foarte mari, pierderea de putere are o importanță deosebită, mai mare chiar decît căderea de tensiune; de aceea, verificarea la pierderea de putere se face întotdeauna.

În general, pierderea de putere la o linie de transport nu trebuie să depășească 5—7%.

Exemplul 1. Să se determine căderea de tensiune pe o linie de 35 kV, lungă de 40 km, cu conductoare de cupru de 70 mm², care transportă o putere de 5 000 kW cu un factor de putere cos $\varphi = 0{,}8$:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi} = \frac{5\,000}{1{,}73 \cdot 35 \cdot 0{,}3} = 103 \text{ A},$$

$$R = \frac{\rho l}{s} = \frac{40\,000}{56 \cdot 70} = 10{,}2\ \Omega,$$

$$L\omega = 0{,}4\Omega/\text{km} \cdot 40 \text{ km} = 16\ \Omega,$$

$$\cos\varphi = 0{,}8\,;\ \sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0{,}8^2} = 0{,}6,$$

$$\Delta u = 1{,}73 \cdot 103(10{,}2 \cdot 0{,}8 + 16 \cdot 0{,}6) = 3\,180 \text{ V},$$

$$\Delta u\% = \frac{3\,180 \cdot 100}{35\,000} = 9{,}1\%.$$

Exemplul 2. Să se determine căderea de tensiune pe o linie de 15 kV, avînd conductoare cu secțiunea de 35 mm², care alimentează un consumator de 1 300 kW la distanța de 12 km și unul de 1 000 kW la distanța de 18 km. Ambii consumatori au factorul de putere cos $\varphi = 0{,}75$.

Pentru prima porțiune a liniei:

$$P_1 = 1\,300 + 1\,000 = 2\,300 \text{ kW},$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi} = \frac{2\,300\,000}{1{,}73 \cdot 15\,000 \cdot 0{,}75} = 118 \text{ A},$$

$$R_1 = \frac{\rho l}{s} = \frac{12\,000}{56 \cdot 35} = 6{,}1\ \Omega,$$

$$L_1\omega = 0{,}4 \cdot 12 = 4{,}8\ \Omega,$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0{,}75^2} = 0{,}66.$$

$$\Delta u_1 = 1{,}73 \cdot 118\ (6{,}1 \cdot 0{,}75 + 4{,}8 \cdot 0{,}66) = 1\,580 \text{ V}.$$

Pentru a doua porțiune a liniei:

$$P_2 = 1\,000 \text{ kW},$$

$$I_2 = \frac{1\,000\,000}{1{,}73 \cdot 15\,000 \cdot 0{,}75} = 51{,}3 \text{ A},$$

$$R_2 = \frac{6\,000}{56 \cdot 35} = 3{,}05\ \Omega,$$

$$L_2\omega = 0{,}4 \cdot 6 = 2{,}4\ \Omega,$$

$$\Delta u_2 = 1{,}73 \cdot 51{,}3\,(3{,}05 \cdot 0.75 + 2{,}4 \cdot 0{,}66) = 343\ \text{V}.$$

Căderea de tensiune totală este :

$$\Delta u = \Delta u_1 + \Delta u_2 = 1\,580 + 343 = 1\,923\ \text{V},$$

$$\Delta u\ \% = \frac{1923 \cdot 100}{15\,000} = 12{,}8\ \%.$$

Căderea de tensiune este prea mare. Dacă în loc de conductoare de 35 mm² se folosesc conductoare de 50 mm², rezultă :

$$R_1 = \frac{12\,000}{56 \cdot 50} = 4{,}3\ \Omega,$$

$$\Delta u_1 = 1{,}73 \cdot 118\,(4{,}3 \cdot 0{,}75 + 4{,}8 \cdot 0{,}66) = 1\,310\ \text{V},$$

$$R_2 = \frac{6\,000}{56{,}50} = 2{,}15\ \Omega,$$

$$\Delta u_2 = 1{,}73 \cdot 51{,}3\,(2{,}15 \cdot 0{,}75 + 2{,}4 \cdot 0{,}66) = 285\ \text{V},$$

$$\Delta u = 1\,310 + 285 = 1\,595\ \text{V},$$

$$\Delta u\ \% = \frac{1\,595 \cdot 100}{15\,000} = 10{,}6\%.$$

Căderea de tensiune este acceptabilă însă relativ mare. Pentru a se obține o cădere de tensiune mai mică este necesar să se folosească conductoare cu secțiune și mai mare (de 70 sau 95 mm²).

Exemplul 3. Să se determine pierderea de putere pentru linia de 35 kV din exemplul 1 :

$$R = 10{,}2\ \Omega,$$

$$I = 103\ \text{A},$$

$$\Delta p = 3\,RI^2 = 3 \cdot 10{,}2 \cdot 103^2 = 326\,000\ \text{W} = 326\ \text{kW},$$

$$a = \frac{100\Delta p}{P} = \frac{100 \cdot 326}{5\,000} = 6{,}53\%,$$

Pierderea de putere este acceptabilă.

EFECTUL CORONA ȘI INFLUENȚA LINIILOR AERIENE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ASUPRA LINIILOR DE TELECOMUNICAȚII

La liniile cu tensiuni foarte înalte apar uneori în jurul conductoarelor niște descărcări sub formă de efluvii, care în anumite cazuri pot fi văzute cu ochiul liber, în special noaptea, cînd descărcările au forma unor licăriri.

Acest fenomen se numește *efect Corona* și apariția lui are loc ca urmare a descărcărilor electrice în spațiul din jurul conductoarelor, sub influența cîmpului electric. El nu apare decît la liinile cu tensiuni foarte înalte, începînd de la 60 kV în sus.

Descărcările luminoase reprezintă în același timp și pierderi de energie, datorită scurgerilor de curent care au loc.

S-a observat că pînă la o anumită tensiune pierderile prin efect Corona au valori foarte reduse și pot fi neglijate. Dacă tensiunea depășește o anumită valoare, numită *tensiune critică*, valoarea pierderilor crește foarte mult, dăunînd bunei funcționări a liniei. Deci, pentru ca o linie de înaltă tensiune să poată funcționa în condiții bune este necesar ca tensiunea de funcționare să fie sub tensiunea critică.

Tensiunea critică se poate calcula cu o formulă care ține seama de caracteristicile liniei.

În primul rînd, tensiunea critică și pierderile prin efect Corona depind de raza conductoarelor liniei. Cu cît conductoarele sînt mai subțiri, cu atît tensiunea critică este mai mică și, ca urmare, pierderile prin efluvii sînt mai mari. Acesta este unul din motivele pentru care, la liniile de înaltă tensiune, se folosesc conductoare groase, deși uneori din calculul pierderilor de putere și tensiune ar rezulta că se pot folosi conductoare mai subțiri. Astfel, pentru liniile de 110 kV se folosesc conductoare cu diametrul de cel puțin 11—12 mm (95 mm^2 secțiune); altfel, tensiunea critică a liniei ar fi depășită și pierderile prin efect Corona ar deveni prea mari. Din același motiv, la liniile de înaltă tensiune se folosesc uneori conductoare în formă de tub, astfel încît la o anumită secțiune diametrul să fie cît mai mare.

În al doilea rînd, pierderile depind de distanța dintre faze. Cu cît aceasta este mai mare, cu atît tensiunea critică este mai mare, deci pierderile sînt mai mici.

Starea atmosferei influențează într-o măsură foarte mare pierderile prin efect Corona. Astfel, pe vreme bună tensiunea critică este mai ridicată și pierderile sînt mai mici. Pe vreme rea (ploaie, umezeală, atmosferă încărcată) aerul dintre conductoare se ionizează mai ușor, deci tensiunea critică este mai coborîtă și pierderile sînt mai importante.

Pentru ca o linie să funcționeze în condiții bune este necesar ca, atît pe vreme bună cît și pe vreme rea, tensiunea critică să fie mai mare decît tensiunea de funcționare a liniei.

Valoarea tensiunii critice mai depinde (în mai mică măsură) și de felul conductoarelor (masive sau funie), de presiunea atmosferică și de temperatura aerului.

O linie la care tensiunea de funcționare este egală sau mai mare decît cea critică, pe lîngă pierderile de energie menționate, mai prezintă și alte inconveniente. Astfel, datorită ozonului format la descărcări se produce o coroziune (roadere) a conductoarelor, care mărindu-se continuu, micșorează secțiunea conductoarelor, slăbindu-le rezistența mecanică. De asemenea, funcționarea în aceste condiții dă naștere la paraziți de înaltă frecvență, puternici, care perturbă liniile de telecomunicații.

Se întîmplă în multe cazuri ca liniile de înaltă tensiune să aibă un traseu apropiat de liniile de telecomunicații (telefonice, telegrafice, de semnalizare etc.) sau de liniile de joasă tensiune. Prin această apropiere, în liniile de telecomunicații sau chiar în cele de joasă tensiune se pot produce perturbații sau accidente, din cauza inducției electromagnetice și electrostatice (prin inducerea unor curenți sau tensiuni de valori mari), care ar putea să prezinte pericol pentru viața oamenilor sau pentru buna funcționare a aparatelor.

După efectele lor, aceste fenomene se pot clasifica în : efecte periculoase și perturbații.

Efectele periculoase apar numai în cazul unei funcționări anormale a liniei de înaltă tensiune, cum ar fi funcționarea liniei cu o punere la pămînt (fază la pămînt). În astfel de cazuri, pe liniile de telecomunicații apar curenți sau tensiuni care ajung la valori periculoase pentru viața sau sănătatea oamenilor, pot provoca defectarea aparatelor de telecomunicații, incendii sau semnale greșite la instalațiile de blocaj ale căilor ferate.

Perturbațiile pot apărea în regim normal de funcționare a liniilor de înaltă tensiune și se manifestă prin curenți sau tensiuni care produc derangamente în funcționarea liniilor de telecomunicații : zgomote în circuitele telefonice, modificări în semnalele telegrafice etc.

Gradul de influență la care sînt supuse liniile de telecomunicații depinde de : puterea transportată pe linia de înaltă tensiune, tensiunea ei, distanța dintre cele două linii și lungimea de paralelism.

În general sînt periculoase porțiunile de paralelism la distanță mică.

La încrucișările dintre linii influența este cu atît mai mică, cu cît distanța dintre conductoare este mai mare și cu cît unghiul de încrucișare este mai apropiat de 90°. Pentru reducerea influenței liniei de înaltă tensiune asupra celei de telecomunicații se pot lua măsuri atît pe circuitele de telecomunicații, cît și pe liniile de înaltă tensiune.

Pe liniile de telecomunicații se poate lua măsura de transpunere (încrucișare) a conductoarelor din distanță în distanță, pentru asigurarea simetriei lor. Pe liniile de înaltă tensiune se face, de asemenea, transpunerea conductoarelor, astfel încît pe anumite distanțe fiecare conductor să ocupe

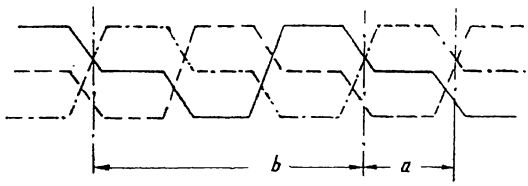


Fig. 15—17. Transpunerea conductoarelor pentru micșorarea influenței liniilor de înaltă tensiune asupra liniilor de telecomunicații : *a* — pasul de transpunere a fazelor; *b* — ciclul de transpuncre a fazelor.

aceeași poziție pe care au ocupat-o și celelalte conductoare pe alte distanțe (fig. 15—17). Distanța totală pe care se face o transpunere completă a fazelor se numește *ciclu de transpunere a fazelor.*

Transpunerea fazelor la liniile de înaltă tensiune se face pe stîlpi de întindere speciali, prevăzuți cu lanțuri de izolatoare suplimentare, pentru aducerea conductoarelor dintr-un loc în altul.

În cazul cînd măsurile arătate nu sînt suficiente, este necesar să se modifice traseul liniei de telecomunicații sau al celei de înaltă tensiune sau să se introducă linia de telecomunicații în cablu subteran.

Întrebări recapitulative

1. Ce este efectul Corona ?
2. Ce este tensiunea critică ?
3. Cum variază valoarea tensiunii critice cu raza conductoarelor ?
4. Cînd sînt pierderile prin efect Corona mai mari : pe vreme rea sau pe vreme bună ?
5. Cum se manifestă influența unei linii de înaltă tensiune față de liniile de telecomunicații din apropiere ?
6. Prin ce mijloace se poate reduce influența liniilor de înaltă tensiune asupra liniilor de telecomunicații din apropiere ?
7. Cum se face transpunerea fazelor la o linie de înaltă tensiune ?

CALCULUL SIMPLIFICAT AL REȚELELOR

În practică, de multe ori apare situația de a rezolva o problemă de calcul pentru o rețea electrică în timp foarte scurt. În astfel de cazuri, folosirea formulelor arătate mai înainte nu duce suficient de repede la rezultatul dorit.

Pentru astfel de cazuri se folosesc niște reprezentări grafice numite abace, însă acestea dau rezultate mai puțin precise decît calculele.

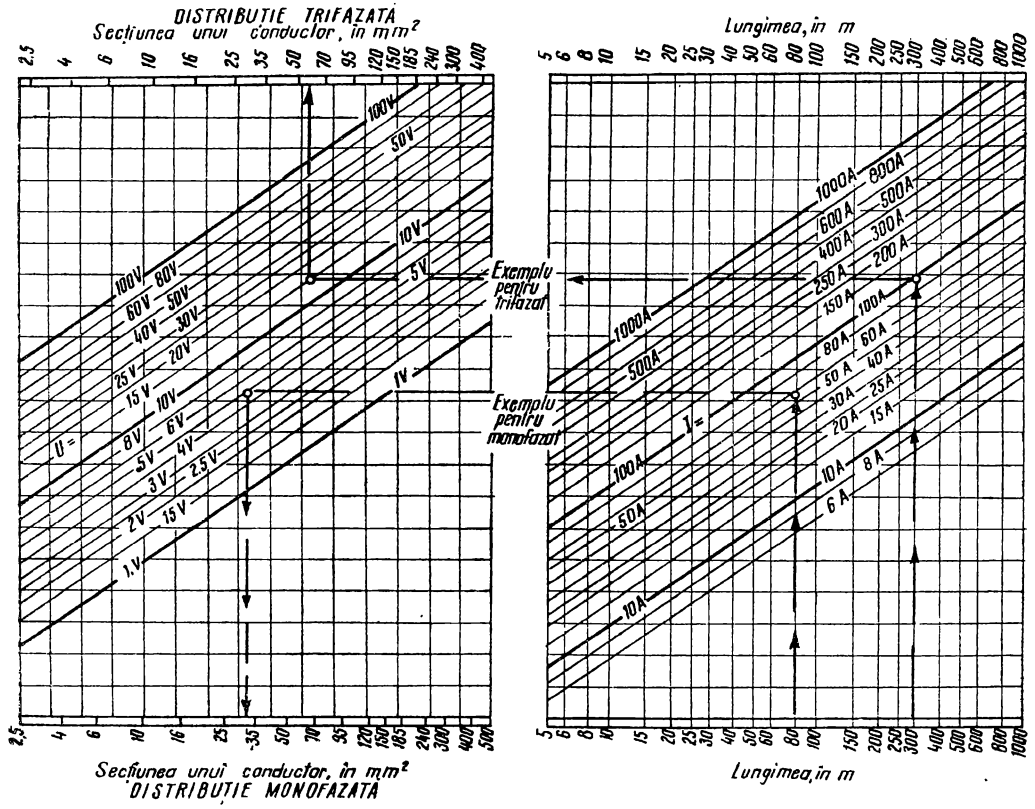


Fig. 15—18. Abacă pentru stabilirea secțiunii conductoarelor.

Figura 15—18 cuprinde o abacă pentru stabilirea secțiunii conductoarelor sau determinarea căderii de tensiune, atît la liniile monofazate, cît și la cele trifazate.

Presupunînd că trebuie calculată secțiunea unei linii monofazate lungi de 80 m, prin care circulă un curent de 60 A, iar căderea de tensiune admisibilă este de 5 V, se procedează în felul următor : se urmăresc indicațiile săgeților din dreptul lungimii de 80 m pe verticală, pînă întîlnesc linia oblică cu indicația 60 A ; din punctul de întîlnire al celor două drepte, mergînd orizontal spre stînga, se întîlnește linia care indică 5V ; din acel punct, mergînd pe verticală în jos, se află secțiunea conductoarelor, care este ceva mai mică decît 35 mm² ; se alege secțiunea normalizată de 35 mm².

Din abacă se vede ușor că dacă căderea de tensiune admisibilă ar fi, de exemplu, 10 V în loc de 5 V, ar fi suficientă o secțiune de 16 mm².

Dacă secțiunea conductoarelor este cunoscută și trebuie determinată căderea de tensiune de pe linie, acest lucru se obține la întretăierea liniei orizontale cu verticala, pornind din dreptul secțiunii respective. Astfel, pentru lungimea de 80 m și curentul de 60 A, rezultă o cădere de tensiune de circa 4,8 V la 35 mm² și circa 6,5 V la 25 mm².

Cu ajutorul abacei se poate rezolva și problema pusă în felul următor: ce curent maxim poate fi transportat pe o linie lungă de 100 m, cu conductoare de 25 mm², la o cădere de tensiune de 10 V. Pentru rezolvare se pornește din dreptul secțiunii de 25 mm² și se ridică o verticală pînă la întretăierea cu linia oblică de 10 V; de acolo se duce o orizontală pînă la întretăierea cu verticala, din dreptul distanței de 100 m, aflîndu-se un punct situat cam la mijloc între oblicele indicînd 60 A și 80 A; rezultatul este 75 A.

Pentru curent alternativ trifazat se procedează în același mod, însă se folosește scara secțiunilor din partea de sus, după cum se vede din exemplul din abacă.

Există și alte abace care asigură obținerea de rezultate aproximative într-un timp scurt și fără obișnuitele calcule.

Exerciții

1. Să se determine căderea de tensiune pentru o linie monofazată de curent alternativ cu conductoare de cupru cu secțiunea de 35 mm², care transportă o putere de 7 kW la o distanță de 300 m. Tensiunea este de 220 V și factorul de putere cos $\varphi = 1$.

Să se verifice rezultatul cu ajutorul abacei.

2. Care este puterea maximă pe care o poate transporta o linie de curent continuu cu conductoare de cupru cu secțiunea de 25 mm², la distanța de 100 m și tensiunea de 110 V, căderea de tensiune nedepășind 5% ? Dar la 220 V?

Să se verifice rezultatul cu ajutorul abacei.

3. Care este distanța maximă pe care se poate transporta o putere de 10 kW la cos $\varphi = 0{,}8$, cu o linie cu conductoare de aluminiu de 35 mm², la tensiunea de 110 V și căderea de tensiune de 5 % ? Dar la tensiunea de 220 V?

4. Să se calculeze secțiunea conductoarelor de aluminiu pentru o linie trifazată funcționînd la tensiunea de 380/220 V, care are trei consumatori: primul de 7 kW situat la distanța de 100 m, al doilea de 13 kW situat la 250 m și al treilea de 8 kW situat la 400 m de punctul de plecare al liniei. Factorul de putere al consumatorilor este de 0,8 și căderea de tensiune admisibilă 5%.

5. Care este căderea de tensiune pe o linie de iluminat public cu conductoare de aluminiu, pe o stradă lungă de 1 200 m, pe care sînt montate lămpi de 40 W din 50 în 50 m ? Secțiunea liniei este de 25 mm² și tensiunea de 220 V.

6. O linie electrică trifazată are o formă ramificată: prima porțiune cu lungimea de 200 m are la capăt un consumator de 25 kW. Din acel punct se despart trei ramuri: prima ramură, lungă de 300 m, are la capăt un consumator de 30 kW; a doua ramură, lungă de 500 m, are o sarcină uniformă distribuit de 40 W/m; a treia ramură, lungă de 800 m, are la capăt un con-

sumator de 16 kW. Tensiunea rețelei este 380/220 V și factorul de putere al consumatorilor este 0,9. Să se determine secțiunea conductoarelor în cazul cînd acestea sînt de cupru și în cazul cînd sînt de aluminiu. Căderea de tensiune admisibilă este de 5%.

7. O linie electrică aeriană de 500 V alimentează în buclă trei consumatori : de la punctul de plecare pînă la primul consumator, care are 80 kW, este o distanță de 100 m ; de la primul la al doilea consumator, care are o putere de 30 kW, este o distanță de 180 m ; de la al doilea la al treilea consumator, care are 45 kW, este o distanță de 125 m ; de la al treilea consumator la punctul de plecare al liniei este o distanță de 120 m. Factorul de putere al consumatorului este de 0,8. Căderea de tensiune admisibilă fiind de 5%, să se determine secțiunea conductoarelor.

8. Să se determine căderea de tensiune și pierderea de putere pentru o linie de transport de energie electrică de 110 kV, cu conductoare din oțel-aluminiu de 120 mm². Linia are o lungime de 140 km și transportă 15 000 kW cu un factor de putere 0,8. Reactanța inductivă a liniei este $L\omega = 0{,}43\ \Omega/\text{km}$.

9. Să se determine secțiunea unei linii de transport de 20 kV, lungă de 18 km, pentru o putere de 900 kW la $\cos \varphi = 0{,}75$, astfel încît pierderea de putere să nu depășească 7%. Pentru secțiunea aflată să se determine căderea de tensiune în linie.

CALCULUL CONDUCTOARELOR LA ÎNCĂLZIRE

1. Încălzirea și răcirea conductoarelor

Dacă printr-un conductor avînd o rezistență r trece un curent electric de valoare I, conductorul se încălzește. În timpul t se dezvoltă o cantitate de căldură W, care se determină după legea Joule-Lenz.

$$W = krI^2t. \tag{15.49}$$

Dacă toată această căldură care se dezvoltă în conductor ar fi înmagazinată, temperatura conductorului ar crește neîncetat. În realitate, temperatura conductorului depășind temperatura mediului înconjurător, conductorul transmite acestuia o cantitate de căldură. Cu cît diferența de temperatură este mai mare, cu atît conductorul cedează o cantitate mai mare de căldură. În acest mod, se ajunge la un moment dat la o temperatură de regim, în care caz cantitatea de căldură dezvoltată de curent în conductor este egală cu cantitatea de căldură cedată de acesta mediului înconjurător.

Reprezentînd grafic diagrama variației temperaturii conductoarelor în funcție de timp, se obține curba OB (fig. 15—19) ; se vede că aceasta are la început o creștere mai accentuată, pentru ca, după un timp, creșterea să fie din ce în ce mai mică, pînă se ajunge la o temperatură constantă,

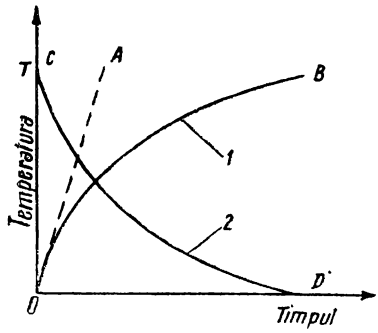


Fig. 15—19. Variația temperaturii conductoarelor în funcție de timp:
1 — încălzire; *2* — răcire.

numită temperatură de regim. Dacă o dată cu încălzirea, conductorul nu ar ceda mediului înconjurător o cantitate de căldură, temperatura lui ar crește neîncetat (dreapta *OA*).

Din cele arătate mai înainte trebuie să se rețină că pentru un anumit curent care trece printr-un conductor, acesta își ridică temperatura pînă la o anumită valoare, care se menține apoi constantă. Dacă valoarea curentului este mai mare, temperatura finală (de regim) a conductorului va fi și ea mai mare, și invers, dacă valoarea curentului va fi mai mică, temperatura de regim la care se va ajunge va fi și ea mai mică.

Dacă într-un conductor care a ajuns la temperatura maximă *T* se întrerupe curentul care l-a încălzit, el se răcește. Răcirea este mai pronunțată la început, cînd diferența de temperatură dintre conductor și mediul înconjurător este mai mare, apoi din ce în ce mai slabă, pînă cînd conductorul ajunge la temperatura mediului. În figura 15—19 răcirea conductorului este reprezentată prin curba *CD*.

Se înțelege că dacă printr-un conductor oarecare trece un curent cu intermitență, în timpul cît trece curentul el se încălzește, iar în timpul cît curentul este întrerupt se răcește; în ansamblu, el se aseamănă cu un conductor prin care trece un curent mai mic și ajunge la o temperatură mai mică decît dacă acest curent îl parcurge permanent.

2. Temperaturile admisibile la încălzirea conductoarelor

Încălzirea conductoarelor peste anumite limite provoacă o serie întreagă de neplăceri, ceea ce face ca pentru fiecare tip de conductor să fie stabilită o temperatură limită, care nu trebuie depășită. Acestei temperaturi îi

corespunde o valoare limită a curentului, peste care nu este permis să se treacă. Astfel, pentru liniile aeriene, o încălzire prea mare a conductoarelor înrăutățește calitățile mecanice (micșorează rezistența la tracțiune), situație care se menține chiar după răcirea conductoarelor. Creșterea prea mare a temperaturii conductoarelor neizolate ale liniilor aeriene nu este permisă și pentru a nu se defecta îmbinările prin cleme ale acestora. De aceea, se recomandă ca temperatura conductoarelor pentru o linie aeriană să nu depășească 70°C.

Pentru cabluri și conductoare izolate se pun și alte probleme, în afară de aceea a clemelor.

În primul rînd, răcirea unui cablu se face mai greu decît a unui conductor neizolat, deoarece prezența izolației face ca trecerea căldurii de la conductor spre exterior să fie mai grea. Izolația cablului se comportă ca o îmbrăcăminte care reține căldura în interiorul ei.

De asemenea, la încălzirea conductoarelor, toate părțile cablului se dilată și întind mantaua de plumb, care se dilată mai puțin din cauza depărtării ei de conductoare. Întrucît mantaua de plumb nu este elastică, la scăderea sarcinii și, prin urmare, la răcirea cablului, ea nu mai revine la starea inițială, favorizînd formarea de goluri în interior.

La cablurile cu izolație de cauciuc, o încălzire de durată duce la uscarea cauciucului și deci la slăbirea izolației.

La fel și izolația de hîrtie uleiată își reduce calitățile izolante dacă este încălzită un timp mai îndelungat.

Ținînd seama de cele arătate anterior se recomandă ca la cablurile cu izolație de cauciuc temperatura să nu depășească 55°C; la cablurile cu izolație de hîrtie se admit temperaturi între 50 și 80°C (temperaturile mai joase se admit pentru cablurile de înaltă tensiune de 20—35 kV, iar temperaturile mai înalte, pentru cablurile de joasă tensiune).

Întrebări recapitulative

1. Cum se face încălzirea și răcirea conductoarelor electrice?
2. Ce neajunsuri produce încălzirea conductoarelor la liniile aeriene?
3. Ce neajunsuri produce încălzirea conductoarelor la cablurile subterane?
4. Ce temperaturi maxime se admit pentru conductoarele liniilor aeriene? Dar pentru cablurile subterane?
5. De ce cablurile se răcesc mai greu decît conductoarele neizolate?

ALEGEREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR ȘI A SIGURANȚELOR FUZIBILE

În practică, calculul temperaturii conductoarelor și a cablurilor nu este posibil să se facă pentru fiecare caz în parte.

De aceea, pe baza calculelor teoretice, a încercărilor de laborator și a măsurilor practice s-au alcătuit tabele, în care se dau valorile maxime ale curentului admis pentru fiecare fel de conductoare, ținînd seama de temperatura mediului înconjurător și de temperatura maximă care poate fi atinsă de conductor.

Deci, în practică, se calculează valoarea curentului care trece prin conductor și din tabele se găsește secțiunea care corespunde acestei valori.

Astfel, pentru conductoarele neizolate, montate în exterior, valorile maxime admise ale curentului sînt date în tabela 15—4.

Aceste valori sînt calculate pentru o temperatură a aerului înconjurător de 25 °C și pentru o supraîncălzire de 45 °C, adică pentru o temperatură totală a conductorului de 70 °C.

Dacă temperatura aerului înconjurător este diferită de 25 °C este necesar să se aplice coeficienții de corecție din tabela 15—5.

Tabela 15—4

Valorile maxime admise ale curentului în conductoare neizolate, montate în aer liber

Secțiunea conductorului, mm²	Încărcarea admisă, în A			
	Cupru STAS 687—56	Aluminiu STAS 3032—52	Oțel-aluminiu STAS 3000—52	Oțel STAS 3734—60
6	65	—	—	—
10	90	—	—	—
16	120	100	—	—
25	170	125	—	—
35	205	160	160	65
50	255	200	205	75
70	320	250	260	105
95	390	305	315	120
120	455	355	360	150

Tabela 15—5

Coeficienții de corecție pentru conductoare neizolate

Temperatura aerului înconjurător, °C	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Coeficientul de corecție	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88

Tabela 15—6

Valorile maxime admise ale curentului în A, pentru cabluri de cupru cu manta de plumb și izolație de hîrtie

Secțiunea, mm²	*Cabluri pentru 1 kV*				*Cabluri pentru înaltă tensiune*				
					Tensiune nominală, kV				
	1 cond	2 cond	3 cond	4 cond	3	6	10	15	20
1,5	35	30	25	22	—	—	—	—	—
2,5	50	40	35	30	—	—	—	—	—
4	65	50	45	40	—	—	—	—	—
6	85	65	60	55	60	55	—	—	—
10	110	90	80	70	80	75	65	—	—
16	155	120	110	95	105	100	85	80	—
25	200	155	135	125	135	130	110	105	105
35	250	185	165	150	165	160	135	130	125
50	310	235	200	185	200	195	165	155	150
70	380	280	245	220	245	235	200	195	185
95	460	335	295	270	290	280	240	230	225
120	535	380	340	305	335	325	280	265	260
150	610	435	390	355	380	370	320	305	300
185	685	490	445	405	435	420	360	350	340
240	800	570	515	400	505	490	420	410	400

Tabela 15—7

Coeficienții de corecție față de numărul de cabluri așezate în șanț

Numărul de cabluri așezate în șanț	1	2	3	4	6	8
Coeficientul de corecție	1	0,90	0,86	0,80	0,75	0,70

Pentru cablurile subterane cu manta de plumb și izolație de hîrtie, încărcările maxime sînt date în tabela 15—6.

Valorile din această tabelă sînt valabile pentru cablurile pozate în pămînt cîte unul singur în șanț. În cazul cînd în același șanț se pozează mai multe cabluri, valorile admise ale curentului se reduc, înmulțindu-se cu coeficienții din tabela 15—7.

Pentru cablurile pozate în canale sau în tuburi se aplică coeficientul 0,90.

Rezultă că secțiunea unui conductor trebuie calculată (sau verificată) din mai multe puncte de vedere : la căderea de tensiune, la pierderea de putere și la încălzire. Deci, un calcul complet al unei linii trebuie să cuprindă toate aceste trei verificări. În practică însă, de multe ori este necesară numai o verificare sumară. Astfel, verificarea la pierderea de putere se-

face, în general, numai la liniile de transport, unde într-adevăr pierderile de putere au o importanță mare.

În ceea ce privește verificarea la căderea de tensiune și la încălzire se constată următoarele: încălzirea conductoarelor unui cablu nu depinde de lungimea lui, ci numai de secțiunea cablului, de natura conductorului și de valoarea curentului, care străbate cablul. În schimb, căderea de tensiune, în afară de secțiunea materialului conductorului și de valoarea curentului, mai depinde și de lungimea conductorului; cu cît lungimea este mai mare, cu atît căderea de tensiune este mai mare.

De aici rezultă concluzia că la liniile lungi, căderea de tensiune fiind mare secțiunea este determinată, în general, de calculul la căderea de tensiune. La liniile scurte căderea de tensiune fiind mică, secțiunea este determinată de încălzire.

Din tabelele date se mai constată că la liniile aeriene cu conductoare neizolate, încărcările sînt mult mai mari decît la cablurile subterane. De aceea, la liniile aeriene, verificarea la încălzire este în general de mai mică importanță și secțiunea se calculează mai ales pe baza căderii de tensiune.

Exerciții

Exemplul 1. Să se determine secțiunea unui conductor de cupru pentru un curent de 200 A, în cazul temperaturilor de 25 și 35 °C ale mediului înconjurător.

Pentru 25 °C se caută direct în tabela 15—4. La 200 A este necesară secțiunea de 35 mm², care suportă un curent maxim de 205 A. Secțiunea de 25 mm² nu este suficientă, pentru că suportă maximum 170 A, deci la 200 A se încălzește prea mult.

Pentru 35 °C trebuie să se țină seama de coeficientul de corecție, care din tabela 15—5 se vede că este 0,92. Conductorul de 35 mm² suportă un curent maxim de $205 \cdot 0{,}92 = 188$ A, mai mic decît 200 A. Deci, secțiunea de 35 mm² nu este suficientă. Se aleg conductoare de 50 mm², care suportă un curent de $255 \cdot 0{,}92 = 234$ A, deci mai mare decît 200 A.

Exemplul 2. Care este secțiunea unui cablu subteran monofazat de cupru, care transportă o putere de 20 kW, la tensiunea de 220 V și $\cos \varphi = 0{,}9$ la distanța de 300 m? Dar la 20 m?

În primul caz:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{20\,000}{220 \cdot 0{,}9} = 101 \text{ A},$$

$$\Delta u = \frac{aU}{100} = \frac{5 \cdot 220}{100} = 11 \text{ V},$$

$$s = \frac{2\rho l I \cos \varphi}{\Delta u} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 101 \cdot 0{,}9}{56 \cdot 11} = 88{,}4 \text{ mm}^2.$$

Se alege secțiunea normalizată de 95 mm².

Căutînd în tabela 15 — 6 se vede că, pentru cablurile cu două conductoare, la secțiunea de 95 mm², curentul maxim admis este de 335 A, deci secțiunea de 95 mm² este bună.

În cazul al doilea I și Δu au aceleași valori ca mai înainte.

Pe baza calculului la căderea de tensiune secțiunea este

$$s = \frac{2 \cdot 20 \cdot 101 \cdot 0{,}9}{56 \cdot 11} = 3{,}9 \text{ mm}^2.$$

S-ar putea alege secțiunea normalizată de 6 mm², însă din tabela 15- 6 rezultă că la această secțiune curentul maxim admis este de numai 65 A. Avînd 101 A este necesar să se aleagă secțiunea de 16 mm².

Întrebări recapitulative

1. Unde se admit încărcări mai mari : la liniile aeriene sau la cablurile subterane ?
2. De cine este determinată secțiunea conductoarelor la cabluri : de căderea de tensiune, sau de încălzire ? Dar la liniile aeriene ?

Capitolul XVI

CALCULUL MECANIC AL LINIILOR ELECTRICE AERIENE

FORȚELE CARE ACȚIONEAZĂ ASUPRA STÎLPULUI

În capitolul XV s-a expus calculul liniilor electrice din punct de vedere electric : calculul la căderea de tensiune, încălzire, pierdere de putere etc. O linie electrică aeriană este însă, solicitată și din punct de vedere mecanic. Astfel, asupra conductoarelor acționează greutatea lor proprie, greutatea chiciurii sau a zăpezii care se depune pe ele, presiunea vîntului etc. Toate aceste solicitări se transmit mai departe asupra izolatoarelor și stîlpilor și în cele din urmă asupra fundațiilor stîlpilor.

Principalele sarcini mecanice ale liniilor aeriene, și anume : greutatea chiciurii și presiunea vîntului depind de condițiile meteorologice sau cum

se obișnuiește să se spună, de starea timpului. De asemenea, eforturile de tracțiune din conductoare depind de temperatură, deci tot de condițiile meteorologice.

De aceea, unul dintre primele elemente care trebuie să fie cunoscut înainte de a se face calculul mecanic pentru o linie electrică aeriană este mărimea acestor factori meteorologici, care influențează starea liniei. Dar condițiile meteorologice nu sînt aceleași peste tot; sînt unele regiuni unde vînturile sînt foarte puternice, altele unde vînturile sînt slabe; în unele regiuni se ajunge la temperaturi foarte ridicate, în altele nu.

Din acest punct de vedere, în prescripțiile de calcul mecanic al liniilor s-a împărțit teritoriul țării noastre în două regiuni meteorologice deosebite: regiunea I, cu condiții meteorologice mai grele (vînt mai mare, chiciură mai groasă pe conductoare) și regiunea a II-a, cu condiții meteorologice mai ușoare.

Regiunea I cuprinde partea de cîmpie și deal din Moldova, Muntenia, Dobrogea și Oltenia. Regiunea a II-a cuprinde Transilvania, Banatul și o parte din regiunea deluroasă din Muntenia și Oltenia.

În prescripții, regiunile sînt delimitate în mod precis printr-o hartă cum este cea din figura 16—1, pentru liniile de înaltă tensiune.

Pentru regiunea I meteorologică grosimea stratului de chiciură care se ia în calcule este de 17 mm, cu excepția zonei din Cîmpia Dunării între Giurgiu și Tulcea, cu depuneri mari și frecvente de chiciură, unde aceasta se consideră cu o grosime de 20 mm; viteza vîntului se ia în calcule de 25 sau 30 m/s, conform împărțirii de pe hartă din figura 16—1.

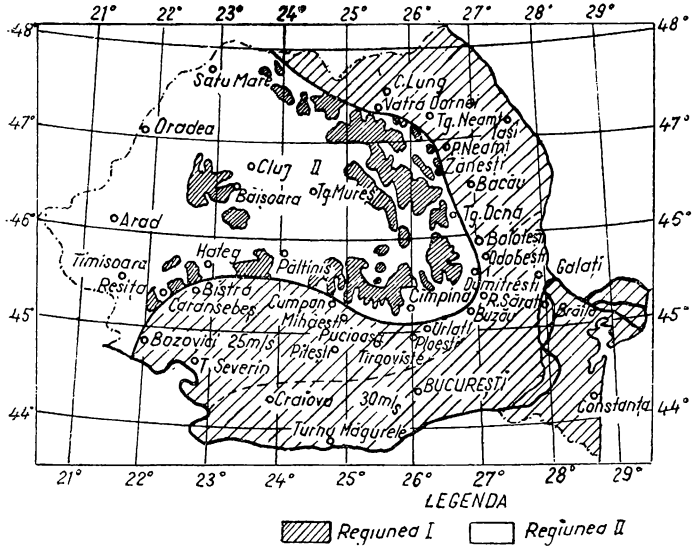


Fig. 16—1. Delimitarea zonelor meteorologice pentru calculul mecanic al liniilor aeriene.

Pentru regiunea a II-a meteorologică grosimea chiciurii se consideră de 13 mm şi viteza maximă a vîntului de 25 m/s.

Ca urmare a acestei situaţii, o linie construită în regiunea I va trebui să fie mai rezistentă decît o linie din regiunea a II-a, pentru a putea face faţă condiţiilor meteorologice mai grele din această regiune.

Pentru liniile aflate la altitudini peste 1 000 m, indiferent de regiune, trebuie considerat în calcul o grosime de chiciură de cel puţin 34 mm.

Dacă într-o anumită zonă se constată că există condiţii meteorologice (chiciură, vînt etc.) mai grele decît cele prevăzute în prescripţii este necesar să se ia în considerare în calcul aceste elemente.

În ceea ce priveşte greutatea proprie a unei linii se ia şi aceasta în considerare în calculul liniilor şi se împarte după elementele componente în :

— greutatea conductoarelor active ; — greutatea conductoarelor de protecţie ; — greutatea izolatoarelor şi armăturilor ; — greutatea stîlpilor ; — greutatea fundaţiilor.

Influenţa cea mai mare asupra construcţiei liniei o are greutatea conductoarelor, atît a celor active, cît şi a celor de protecţie.

Greutatea conductoarelor depinde de materialul din care sînt executate şi este dată în tabele.

Întrebări recapitulative

1. Ce factori atmosferici dau naştere la solicitări mecanice în liniile aeriene ?
2. Care sînt regiunile meteorologice din ţara noastră şi prin ce se caracterizează ele ?
3. Ce grosimi ale chiciurii se iau în considerare pentru fiecare zonă meteorologică ?

INFLUENŢA CHICIURII ASUPRA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

În anumite condiţii atmosferice, conductoarele liniilor aeriene se acoperă cu un strat de chiciură (promoroacă) şi cu zăpadă, care în unele cazuri reprezintă o greutate foarte mare. În calcule nu poate fi neglijată această greutate suplimentară, căci aceasta ar duce la ruperea conductoarelor.

Uneori, stratul de chiciură depus pe conductoare nu este prea mare şi greutatea lui poate fi suportată de acestea. În unele cazuri însă stratul de chiciură este foarte gros şi poate duce chiar la ruperea conductoarelor sau a stîlpilor.

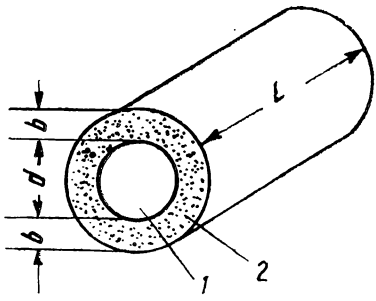


Fig. 16 -2. Conductor acoperit cu chiciură : *1* — conductor; *2* — strat de chiciură.

Stratul de chiciură se depune în jurul conductorului în mod neregulat. În calcule se consideră însă că stratul de chiciură are o grosime uniformă pe toată suprafața conductorului, după cum se vede în figura 16—2.

Uneori intervin depuneri de chiciură foarte mari, ajungînd la 4—5 cm grosime în jurul conductorului. Aceste depuneri foarte mari intervin însă foarte rar. În general, grosimea chiciurii nu depășește 10—11 mm.

La proiectarea unei linii conductoarele ar putea fi astfel calculate, încît să reziste la chiciură oricît de mare. În acest caz însă linia ar deveni foarte costisitoare. De aceea, în calcul se ține seama de grosimea chiciurii la care se ajunge în mod normal și se consideră că este mai economic să se rupă o linie, o dată la 30 de ani, decît să se construiască linii atît de costisitoare, încît să existe siguranță completă de funcționare. Numai la liniile foarte importante, aflate în zone periculoase de chiciură se iau în calcul grosimi mai mari de chiciură.

Volumul și greutatea chiciurii, ținînd seama de figura 16—2, se calculează astfel :

$$V = \frac{\pi}{4}\left[(d + 2b)^2 - d^2\right]L = \pi b(d + b)\,L, \tag{16.1}$$

$$G = V\gamma_c = \pi b(d + b)L\gamma_c, \tag{16.2}$$

unde : γ_c este greutatea specifică a chiciurii, care în calcule se consideră 0,9 gf/cm³ ;

V — volumul chiciurii, în cm³ ;

G — greutatea chiciurii, în gf ;

d — diametrul conductorului, în cm ;

b — grosimea stratului de chiciură, în cm ;

L — lungimea conductorului, în cm.

Exemplu de calcul. Să se afle volumul și greutatea chiciurii pe 1 m lungime, pentru un conductor cu diametrul de 9 mm, acoperit cu un strat de chiciură gros de 13 mm :

$$b = 13 \text{ mm} = 1{,}3 \text{ cm};$$
$$d = 9 \text{ mm} = 0{,}9 \text{ cm};$$
$$L = 100 \text{ cm};$$
$$V = 3{,}14 \cdot 1{,}3(0{,}9 + 1{,}3) \cdot 100 = 900 \text{ cm}^3;$$
$$G = 900 \cdot 0{,}9 = 810 \text{ gf}.$$

Întrebări recapitulative

1. Ce este chiciura și în ce condiții se formează ea ?
2. Pînă la ce grosime poate ajunge stratul de chiciură care se formează pe conductoare ?

ACȚIUNEA VÎNTULUI ȘI A TEMPERATURII ASUPRA LINIILOR ELECTRICE AERIENE

1. Vîntul

Vîntul acționează asupra conductoarelor, asupra izolatoarelor și asupra stîlpilor, producînd o mărire a tracțiunii conductoarelor și solicitări suplimentare în stîlp.

Presiunea pe care vîntul o produce asupra conductoarelor sau a stîlpilor depinde, în primul rînd de viteza sa. Mai exact, presiunea vîntului este proporțională cu pătratul vitezei ; dacă viteza vîntului crește de două ori, presiunea lui crește de patru ori ; dacă viteza crește de trei ori, presiunea crește de nouă ori etc.

În calcule presiunea vîntului se consideră perpendiculară pe direcția liniei, pentru că în această situație solicitarea liniei este cea mai defavorabilă. Dacă vîntul ar bate în direcția liniei, conductoarele nu ar fi solicitate, ci numai stîlpii.

Formula care dă valoarea presiunii vîntului pe conductoare sau stîlpi este următoarea :

$$P = \alpha k S \frac{V^2}{16}, \qquad (16.3)$$

în care : P este presiunea vîntului, în kgf, pe direcția orizontală ;

α — un coeficient care ține seamă că vîntul care bate asupra conductoarelor nu este același pe toată lungimea deschiderii ; la conductoare α se ia egal cu 0,85, iar la stîlpi $\alpha = 1$;

S — suprafața bătută de vînt, în m^2 ;

k — coeficientul aerodinamic, care ține seama de felul suprafeței bătute de vînt ; la conductoare se ia $k = 1{,}2$, la părțile cilindrice ale stîlpilor $k = 0{,}7$, iar la părțile drepte ale stîlpilor $k = 1{,}4$;

V — viteza vîntului, în m/s.

În calculele care se fac pentru liniile electrice aeriene se consideră că viteza maximă a vîntului care poate interveni este de 25 m/s, cînd conductoarele nu sînt acoperite cu chiciură, iar cînd conductoarele sînt acoperite cu chiciură se consideră viteza de 15 m/s.

Trebuie menționat că vîntul cu viteza de 25 m/s este de fapt o furtună foarte puternică, care produce distrugeri mari, doboară copacii și îi scoate din rădăcini, iar cel cu viteza de 15 m/s este un vînt foarte puternic, care clatină copacii și îndoaie ramurile groase.

2. Temperatura

Țara noastră, avînd o climă temperat-continentală are variații foarte mari de temperatură în timpul anului.

În calculul liniilor aeriene se consideră că cea mai scăzută temperatură care poate să apară este —30 °C și cea mai ridicată +40 °C.

Temperaturi sub —30 °C și peste +40 °C apar foarte rar și pentru timp scurt, astfel încît nu pot provoca neajunsuri pentru liniile electrice aeriene.

Exemplu de calcul. Să se determine care este presiunea produsă de vîntul cu o viteză de 15 m/s pe un conductor de cupru de 35 mm^2, cu lungimea de 120 m. Să se determine apoi care este presiunea vîntului cînd acest conductor este acoperit cu un strat de chiciură cu grosimea de 1 cm.

Diametrul conductorului de 35 mm^2 este

$$d = 7{,}5 \text{ mm} = 0{,}0075 \text{ m}.$$

Suprafața bătută de vînt este

$$S = dL = 0{,}0075 \cdot 120 = 0{,}9 \text{ m}^2.$$

Presiunea vîntului :

$$P = \alpha k S \frac{V^2}{16} = 0{,}85 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}9 \frac{15^2}{16} = 12{,}9 \text{ kgf}.$$

În cazul chiciurii :

$$D = d + 2b = 7{,}5 + 2 \cdot 10 = 27{,}5 \text{ mm} = 0{,}0275 \text{ m} ;$$

$$S = D\,L = 0{,}0275 \cdot 120 = 3{,}3 \text{ m}^2;$$

$$P = 0{,}85 \cdot 1{,}2 \cdot 3{,}3 \frac{15^2}{16} = 47{,}2 \text{ kgf}.$$

Se vede că datorită depunerii de chiciură presiunea vîntului a crescut mult, deoarece s-a mărit suprafața conductorului.

GABARITELE LINIILOR

Se numește *deschidere* distanța dintre doi stîlpi vecini, măsurată pe orizontală.

Se numește *panou* distanța dintre doi stîlpi de întindere. Un panou cuprinde una sau mai multe deschideri.

Se numește *săgeata conductorului* și se notează cu f distanța, pe verticală, dintre linia dreaptă care unește punctele de fixare ale conductorului și tangenta la conductor, paralelă la această dreaptă (v. fig. 9—18).

Se numește *gabarit* distanța cea mai mică, măsurată pe verticală, de la conductor pînă la pămînt sau pînă la o construcție oarecare.

Ținîndu-se seama de mărimea săgeții conductoarelor și de distanța de la conductoare la pămînt, rezultă înălțimea stîlpilor.

Distanțele minime admise de la conductoare la pămînt și la diversele construcții de pe pămînt sînt date de „Prescripțiile pentru construcția liniilor aeriene de transport de energie electrică" și diferă în funcție de tensiunea liniei, de locul pe unde trece linia etc.

Astfel, pentru liniile care trec pe cîmp, în locuri nelocuite, distanța de la conductorul cel mai de jos pînă la pămînt trebuie să fie de :

— 6 m pentru liniile de înaltă tensiune ;

— 5 m pentru liniile de joasă tensiune.

Pentru liniile care trec prin regiuni locuite, cum ar fi orașe sau sate, pe teritoriile întreprinderilor etc., distanța pînă la pămînt trebuie să fie de :

— 7 m pentru liniile de înaltă tensiune ;

— 6 m pentru liniile de joasă tensiune.

În punctele unde o linie aeriană traversează o cale ferată trebuie luate măsuri de precauție, deoarece căderea stîlpilor sau a conductoarelor peste șine ar putea provoca accidente grave. De aceea, la traversarea căii ferate este necesar ca stîlpii să fie mai rezistenți, iar conductoarele să fie fixate cu două rînduri de izolatoare. Distanța de la conductoare la șine trebuie să fie și ea suficient de mare, pentru a permite trecerea trenurilor fără pericol de atingere sau apropiere prea mare. Această distanță trebuie să fie de cel puțin 7,5 m.

La traversarea peste șosele trebuie, de asemenea, să se ia măsuri speciale. Distanța de la conductorul cel mai de jos pînă la suprafața șoselei trebuie să fie de cel puțin :

— 7 m pentru liniile de înaltă tensiune ;

— 6 m pentru liniile de joasă tensiune.

De asemenea, trebuie păstrate distanțe suficient de mari între conductoare, în cazul cînd linia de transport de energie electrică se încrucișează cu alte linii de transport, cu linii telefonice, funiculare, rîuri navigabile sau cînd trece prin apropierea unor clădiri, terenuri de sport, aerodromuri, poduri etc.

Astfel, la traversarea unei linii electrice aeriene peste o altă linie de aceeași tensiune sau de tensiune mai mică sau peste o linie de telecomunicații, distanța între conductoarele liniilor trebuie să fie de cel puțin :

— 5 m pentru linii de 25—110 kV ;

— 4 m pentru linii de 1—20 kV ;

— 2 m pentru linii pînă la 1 kV.

Aceste distanțe pot fi micșorate dacă pe stîlpii care mărginesc traversarea se iau măsuri speciale de protecție contra supratensiunilor. În aceste cazuri, distanțele pot fi :

— 3 m pentru linii de 25 — 110 kV ;

— 2 m pentru linii de 1—20 kV ;

— 1,25 m pentru linii pînă la 1 kV.

O atenție deosebită trebuie dată copacilor din apropierea liniilor de transport. La trecerea unei linii de înaltă tensiune printr-o pădure, trebuie să se taie un culoar suficient de larg, astfel încît dacă un copac de pe marginea culoarului ar cădea spre linie, să nu atingă conductoarele sau stîlpii. Pentru liniile de joasă tensiune nu trebuie să se taie un culoar atît de larg, însă trebuie să se păstreze o distanță de cel puțin 1 m de la crengi la conductoare.

La trecerea liniilor pe lîngă pomi răzleți trebuie să se taie pomii sau crengile care ating linia sau care, prin cădere, ar putea atinge linia.

Întrebări recapitulative

1. Ce cote de gabarit se iau pentru conductoarele liniilor de înaltă tensiune ? Dar pentru liniile de joasă tensiune ?
2. Ce măsuri constructive speciale se iau la traversări de căi ferate, șosele și alte linii de transport etc. ?
3. Ce măsuri se iau la trecerea liniilor electrice prin păduri ?

CALCULUL CONDUCTOARELOR LINIILOR AERIENE

Între doi stîlpi vecini conductorul ia o formă ca în figura 9—18.

Întinderea conductoarelor poate fi făcută astfel, încît săgeata f să fie mai mare sau mai mică. Dacă conductoarele sînt întinse mai puternic, săgeata este mai mică; dacă conductoarele sînt întinse mai slab, săgeata este mai mare. Pentru ca stîlpii să nu fie prea înalți, este necesar ca săgeata să fie cît mai mică și deci conductoarele să fie cît mai mult întinse. Pentru a nu rupe însă conductoarele, ele sînt întinse numai pînă sub limita lor de rezistență admisibilă.

În afară de forța cu care sînt întinse conductoarele, săgeata depinde și de mărimea deschiderii, adică de distanța dintre stîlpi. Cu cît deschiderea este mai mare, cu atît și săgeata conductoarelor este mai mare.

De asemenea, săgeata mai depinde de greutatea conductorului: cu cît aceasta este mai mare, cu atît săgeata crește și ea. Se înțelege că dacă conductoarele sînt încărcate cu chiciură, greutatea lor va fi mai mare deci și săgeata va fi mai mare.

Ținînd seama de cele de mai înainte, săgeata unui conductor se poate determina cu formula

$$f = \frac{a^2 g}{8\sigma}, \tag{16.4}$$

în care: f este săgeata conductorului, în m;

a — deschiderea dintre stîlpi, în m;

g — greutatea specifică a conductorului, liber sau cu chiciură, în kgf/cm³;

σ — forța de întindere care revine pentru un milimetru pătrat din secțiunea conductorului (efortul unitar al conductorului); se exprimă în kgf/mm².

Săgeata mai depinde însă și de temperatură. Astfel, dacă un conductor este întins cu o anumită forță și deci cu o anumită săgeată și între timp temperatura crește, conductorul se va dilata (se va lungi) și săgeata va deveni mai mare. Dacă temperatura scade, conductorul se va contracta (se va scurta) și săgeata va deveni mai mică.

Cea mai mare săgeată se formează în timpul verii, cînd temperatura este ridicată, adică, în conformitate cu normele din țara noastră, la +40 °C, iar cea mai mică în timpul iernii, cînd temperatura este scăzută, adică la —30 °C.

Cînd temperatura este ridicată și săgeata mare, efortul unitar σ în conductor este mai mic. Cînd temperatura este coborîtă și săgeata este mică,

efortul unitar σ în conductor este mare. Dacă conductoarele ar fi întinse la o temperatură mai ridicată cu efort maxim, la scăderea temperaturii efortul în conductoare ar crește și ar depăși rezistența admisibilă. De aceea, cînd conductoarele se întind la o temperatură mai ridicată, este necesar să se aplice un efort mai mic, astfel încît la scăderea temperaturii, rezistența admisibilă să nu fie depășită.

De asemenea, cînd conductoarele se întind la o temperatură mai joasă și distanța exactă pînă la pămînt este de exemplu de 6 m, cînd temperatura crește, conductoarele se dilată, săgeata crește și ea, iar distanța dintre conductoare și pămînt devine mai mică decît cea necesară.

În concluzie, conductoarele trebuie întinse cu o săgeată astfel calculată, încît la temperatura de $-30\,°C$ să nu fie depășită rezistența admisibilă a conductoarelor, adică să nu existe pericolul ruperii lor, iar la temperatura de $+40\,°C$, săgeata să nu fie prea mare, astfel încît distanța de la conductor la pămînt să fie suficient de mare.

Mai trebuie făcută o verificare, și anume atunci cînd conductoarele sînt încărcate cu chiciură. În acest caz, din cauza greutății mari a chiciurii, atît efortul în conductor cît și săgeata sînt mari.

Deoarece pentru a corespunde tuturor acestor condiții calculul săgeților este greu de făcut pentru fiecare caz în parte, în practică se utilizează tabele cu săgețile care trebuie adoptate la diferite deschideri și diferite temperaturi, calculate astfel încît rezistențele admisibile ale conductoarelor să nu fie depășite.

Folosirea acestor tabele este ușoară și se poate face repede chiar pe șantier.

Rezistența conductorului depinde de materialul din care acesta este executat. Astfel, cuprul este mai rezistent decît aluminiul.

Pentru a rupe, de exemplu, un conductor de cupru de 50 mm^2 este necesară o forță de 2 000 kgf. Înseamnă că pentru 1 mm^2 revine o forță de $\frac{2\,000\ kgf}{50\ mm^2} = 40\ kgf/mm^2$.

Această forță, care este necesară pentru a rupe 1 mm^2 dintr-un conductor, se numește *rezistență de rupere* a conductorului.

Pentru aluminiu, rezistența de rupere este de 16 kgf/mm^2.

Rezistența pînă la care se pot întinde conductoarele se numește rezistență admisibilă.

Cifra care arată de cîte ori rezistența admisibilă este mai mică decît rezistența de rupere se numește coeficient de siguranță. Astfel, dacă rezistența de rupere pentru cupru este de 40 kgf/mm^2 și rezistența admisibilă este de 20 kgf/mm^2, coeficientul de siguranță este 2.

În mod normal, la calculul conductoarelor se ia un coeficient de siguranță egal cu 2. La trecerea liniei prin regiuni locuite, la traversări peste șosele sau căi ferate, peste linii telefonice, coeficientul de siguranță se ia egal cu 3.

Exerciții

Exemplul 1. Să se calculeze săgeata pentru un conductor de cupru de 35 mm², pentru o deschidere de 50 m, știind că întinderea conductorului se face cu o forță de 400 kgf.

$$a = 50 \text{ m};$$

$$g = 0{,}0089 \text{ kgf/cm}^3;$$

$$\sigma = \frac{400 \text{ kgf}}{35 \text{ mm}^2} = 11{,}4 \text{ kgf/mm}^2;$$

$$f = \frac{a^2 g}{8\sigma} = \frac{50^2 \cdot 0{,}0089}{8 \cdot 11{,}4} = 0{,}244 \text{ m} \simeq 24 \text{ cm}.$$

Exemplul 2. Care va fi săgeata dacă în aceleași condiții ca în exemplul precedent, deschiderea este de 100 m?

$$f = \frac{100^2 \cdot 0{,}0089}{8 \cdot 11{,}4} = 0{,}976 \text{ m} \simeq 98 \text{ cm}.$$

Se vede că deschiderea fiind de două ori mai mare, săgeata a crescut de patru ori.

Exemplul 3. Cu ce forță este întins un conductor de aluminiu cu secțiunea de 16 mm², care are o săgeată de 1,30 m la o deschidere de 60 m?

$$a = 60 \text{ m};$$

$$g = 0{,}0027 \text{ kgf/cm}^3;$$

$$f = 1{,}30 \text{ m}.$$

Din formula $f = \frac{a^2 g}{8\sigma}$ se determină elementul necunoscut, care este σ

$$\sigma = \frac{a^2 g}{8f} = \frac{60^2 \cdot 0{,}0027}{8 \cdot 1{,}30} = 0{,}93 \text{ kgf/mm}^2;$$

$$F = \sigma s = 0{,}93 \cdot 16 = 14{,}9 \text{ kgf}.$$

Exemplul 4. La ce efort este supus un conductor de cupru de 25 mm², dacă la o deschidere de 80 m are săgeata de 0,3 m?

$$\sigma = \frac{a^2 g}{8f} = \frac{80^2 \, 0{,}0089}{8 \cdot 0{,}3} = 23{,}8 \text{ kgf/mm}^2.$$

Se constată că acest conductor este întins prea tare, deoarece rezistența admisibilă a cuprului este de numai 20 kgf/mm², în cazul unui coeficient de siguranță egal cu 2.

CALCULUL STÎLPILOR

Atît forțele exercitate de conductoare, cît și forțele produse de diferiți factori atmosferici cum ar fi vîntul, supun stîlpii liniilor aeriene la solicitării mecanice, care, în anumite cazuri, pot fi foarte puternice și pot provoca fie deformarea stîlpilor, fie chiar ruperea lor.

De aceea, calculul stîlpilor liniilor electrice trebuie făcut astfel, încît aceștia să reziste în condiții bune la forțele la care sînt supuși și, în același timp, să nu fie supradimensionați, adică să fie ieftini.

Calculul stîlpilor este diferit, după materialul din care aceștia sînt construiți. Astfel, calculul stîlpilor de lemn diferă de calculul stîlpilor de beton sau al celor metalici.

În afară de aceasta, calculul este diferit după felul stîlpului.

Întrucît fiecare din tipurile de stîlpi (de susținere, întindere etc.) are rol diferit în funcționarea liniei, se calculează în mod diferit.

Pentru stîlpii de susținere nu se iau în considerare forțele de tracțiune din conductoare. Deoarece stîlpii de susținere se montează numai pe o porțiune dreaptă a unei linii (în aliniament), forța cu care trag conductoarele într-o parte este egală și de sens contrar cu forța cu care trag conductoarele din cealaltă parte, deci rezultanta lor este zero. Datorită acestui fapt, forțele care acționează asupra unui stîlp de susținere sînt următoarele :

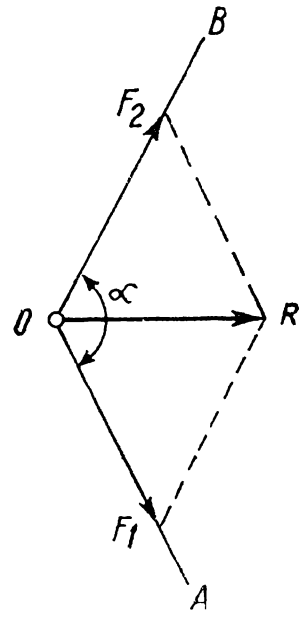
— greutatea conductoarelor ;
— greutatea chiciurii depusă pe conductoare ;
— greutatea proprie a stîlpului (inclusiv izolatoarele) ;
— presiunea vîntului pe conductoare și pe stîlp, în direcția perpendiculară pe aliniamentul liniei.

La liniile mai importante se consideră în plus că un conductor este rupt și deci conductorul rămas de cealaltă parte a stîlpului produce o forță care acționează asupra stîlpului.

La liniile cu izolatoare rigide, stîlpii de susținere nefiind calculați să reziste la eforturi în lungul liniei, la ruperea unuia sau a mai multor conductoare într-o deschidere, datorită unei furtuni sau a unei depuneri mari de chiciură, se pot rupe și ei. De cele mai multe ori, datorită elasticității stîlpilor, aceștia nu se rup, ci doar se încovoaie. Încovoierea este maximă la stîlpii deschiderii în care s-a rupt conductorul și scade cu cît distanța crește.

La liniile cu izolatoare de suspensie, stîlpii de susținere fiind dimensionați să reziste la ruperea unui conductor, numai ruperea mai multor conductoare poate duce la ruperea sau înclinarea unuia sau a mai multor stîlpi.

Fig. 16—3. Compunerea forțelor la stîlpii de colț.



În acest caz, se poate evita ruperea stîlpilor de susținere dacă se folosesc cleme cu alunecare sau cu declanșare.

Acest fel de accidente au efecte limitate la un panou al liniei, datorită stîlpilor de întindere.

La stîlpii de întindere, în afară de greutățile diferitelor elemente și de presiunea vîntului, se consideră că două dintre cele trei conductoare sînt rupte, iar conductoarele care au rămas de cealaltă parte a stîlpului acționează asupra stîlpului de întindere.

Stîlpii de colț sînt calculați astfel încît, pe lîngă forțele produse de greutățile diferitelor părți ale liniei și chiciurii și de presiunea vîntului, să reziste și la forța rezultantă produsă de tracțiunea conductoarelor. Astfel, dacă într-o parte a stîlpului conductoarele trag în direcția OA cu o forță egal cu F_1 și în cealaltă parte trag în direcția OB cu forța F_2, rezultanta R a acestor forțe (care, în general, sînt egale) se află geometric cu ajutorul regulii paralelogramului (fig. 16—3).

Cu cît unghiul α este mai mic, adică cu cît colțul liniei este mai pronunțat, cu atît rezultanta R este mai mare.

Cu cît unghiul α este mai mare (mai apropiat de 180°), cu atît rezultanta R este mai mică (deci stîlpul de colț este solicitat mai puțin) ; ea se anulează pentru $\alpha = 180°$, cînd forțele F_1 și F_2 sînt pe aceeași direcție (cazul stîlpului de susținere).

Stîlpii terminali se calculează considerînd că toate conductoarele trag într-un singur sens, iar conductoarele care ar trage în sens contrar nu se iau în considerare.

Exemplu de calcul. Să se calculeze forța rezultantă care acționează asupra unui stîlp de colț de 160° pe care se află 3 conductoare de cupru de 50 mm², care sînt întinse cu o forță de 15 kgf/ mm².

$$F_1 = F_2 = 3 \cdot 50 \cdot 15 = 2\,250 \text{ kgf}.$$

$$R = 2 F_1 \cos \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2250 \cdot \cos 80° = 4\,500 \cdot 0{,}309 = 1\,390 \text{ kgf}.$$

Întrebări recapitulative

1. De cine sînt provocate forțele care acționează asupra stîlpilor ?
2. Ce ipoteze de calcul se fac la stîlpii de întindere ?
3. Dar la stîlpii terminali ?

CALCULUL STÎLPULUI SIMPLU DE LEMN

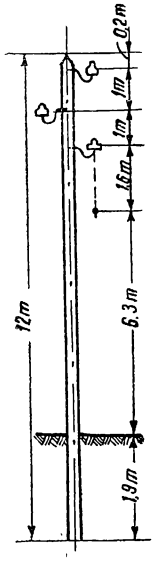
Se consideră un stîlp de susținere de lemn pentru tensiunea de 6 kV, echipat cu trei conductoare de cupru de 50 mm² (format funie), avînd diametrul de 9 mm.

Lungimea totală a stîlpului este de 12 m, iar distanța dintre doi stîlpi alăturați este de 60 m.

Izolatoarele sînt dispuse ca în figura 16—4. Săgeata conductoarelor este 1,6 m.

În primul rînd se verifică adîncimea de îngropare a stîlpului și distanța de la conductorul cel mai de jos pînă la pămînt. Adîncimea de îngropare se determină cu ajutorul formulei (7.1).

$$l = 1{,}5 + \frac{L-8}{10} = 1{,}5 + \frac{12-8}{10} = 1{,}5 + 0{,}4 = 1{,}9 \text{ m}.$$



Distanța de la conductorul cel mai de jos, în dreptul săgeții maxime, pînă la pămînt rezultă din figura 16—4 :

$$h = 12 - (0{,}2 + 2 + 1 + 1{,}6 + 1{,}9) = 12 - 5{,}7 = 6{,}3 \text{ m}.$$

Pentru liniile de înaltă tensiune, în regiunile nelocuite, distanța de la conductoare la pămînt trebuie să fie de cel puțin 6 m. Deoarece din calcul a rezultat că această distanță este de 6,3 m, rezultă că înălțimea stîlpului este suficientă.

Presiunea vîntului pe conductor se determină cu formula

$$P_c = \alpha k S \frac{V^2}{16}, \qquad (16.5)$$

Fig. 16—4. Stîlp de susținere de 6 kV, cu dimensiunile necesare pentru calcul.

în care :

$$\alpha = 0{,}85$$

$$k = 1{,}2;$$

$$S = 60 \cdot 0{,}009 = 0{,}54 \text{ m}^2;$$

$$V = 25 \text{ m/s};$$

$$P_c = 0{,}85 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}54 \cdot \frac{25^2}{16} = 21{,}5 \text{ kgf.}$$

Pentru stîlp,

$$\alpha = 1;$$

$$k = 0{,}7.$$

Pentru a afla suprafaţa bătută de vînt a stîlpului, se înmulţeşte lungimea stîlpului care se găseşte afară din pămînt cu diametrul mediu al stîlpului :

$$l = 12 - 1{,}9 = 10{,}1 \text{ m.}$$

Diametrul stîlpului la vîrf fiind de circa 16 cm, iar la bază de 24 cm, se calculează diametrul mediu :

$$d_m = \frac{16 + 24}{2} = 20 \text{ cm} = 0{,}2\text{m.}$$

Deci,

$$S = 10{,}1 \cdot 0{,}2 = 2{,}02 \text{ m}^2;$$

$$P_s = 1 \cdot 0{,}7 \cdot 2{,}02 \cdot \frac{25^2}{16} = 55 \text{ kgf.}$$

Presiunea vîntului pe conductoare se aplică asupra stîlpilor în punctele unde conductoarele sînt fixate pe stîlp, adică la izolatoare.

Presiunea vîntului pe stîlp se aplică pe toată suprafaţa lui, repartizată uniform. Pentru simplificare, se consideră că se aplică la jumătatea înălţimii stîlpului, adică la o distanţă de la sol de

$$\frac{10{,}1}{2} = 5{,}05 \simeq 5{,}1\text{m.}$$

Forţele astfel stabilite se trec schematic pe desenul din figura 16—5. Aceste forţe produc o încovoiere a stîlpului de la stînga spre dreapta. În această situaţie, locul cel mai periculos în care se poate rupe stîlpul este punctul de la suprafaţa solului.

Se constată că o forţă este cu atît mai periculoasă pentru stîlp, cu cît este aplicată mai sus şi cu cît distanţa de la forţă la punctul periculos de rupere este mai mare.

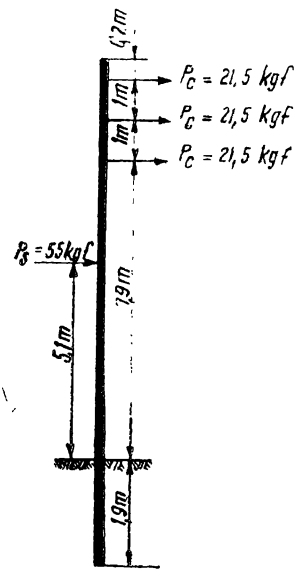


Fig. 16—5. Forțele care acționează asupra stîlpului de susținere.

Rezultă că, de fapt, în calcul contează nu atît forța, cît momentul forței față de punctul periculos (din mecanică se cunoaște că momentul unei forțe față de un punct este valoarea forței înmulțită cu distanța de la forță la acel punct). Momentul se exprimă în kgfm sau în kgfcm.

În cazul de față trebuie calculat momentul rezultant al tuturor forțelor care acționează asupra stîlpului față de punctul aflat la suprafața pămîntului.

Deci,

$$M = 21{,}5 \cdot 9{,}9 + 21{,}5 \cdot 8{,}9 + 21{,}5 \cdot 7{,}9 + 55 \cdot 5{,}1 = 854 \text{ kgfm} = 85\,400 \text{ kgfcm}.$$

Momentul încovoietor produs de forțele care acționează asupra stîlpului trebuie să fie echilibrat de momentul rezistent al stîlpului.

Rezistența stîlpului se exprimă prin *„modulul de rezistență"* în cm^3, care se determină cu formula

$$W = \frac{D^3}{32}, \qquad (16.6)$$

în care D este diametrul stîlpului la suprafața pămîntului, în cm.

În cazul considerat, $D = 24$ cm, deci

$$W = \frac{3{,}14 \cdot 24^3}{32} = 1\,350 \text{ cm}^3.$$

Împărțind momentul încovoietor la modulul de rezistență, rezultă solicitarea stîlpului:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{85\,400}{1\,350} = 63{,}3 \text{ kgf/cm}^2.$$

Pentru stîlpii de brad impregnat, rezistența admisibilă este de 120 kgf/cm^2.

În cazul de față, solicitarea determinată din calcul fiind mai mică decît rezistența admisibilă, rezultă că stîlpul va rezista în bune condiții, fără să se rupă sau să se deformeze.

Întrebări recapitulative

1. Care secțiune a stîlpului este cea mai solicitată?
2. Cînd o forță este mai periculoasă pentru o anumită secțiune a stîlpului, cînd este aproape de această secțiune sau cînd este la o distanță mai mare?

CALCULUL ANCORELOR LA STÎLPII DE JOASĂ TENSIUNE

Ca exemplu se calculează efortul în ancoră pentru un stîlp ca cel din figura 16—6 echipat cu trei conductoare de cupru de 35 mm². Efortul unitar maxim în conductoare este de 12 kgf/mm², iar unghiul făcut de linie în punctul unde este instalat acest stîlp este $\alpha = 140°$.

Forța de tracțiune într-un conductor va fi

$$F = \sigma s = 12 \cdot 35 = 420 \text{ kgf}.$$

Figura 16—7 reprezintă o vedere în plan, pentru o fază a liniei. Forțele F din conductoare, de o parte și de alta a stîlpului, se compun într-o rezultantă R, care se determină grafic prin compunerea forțelor după regula paralelogramului, iar prin calcul cu formula

$$R = 2F\cos\frac{\alpha}{2}. \tag{16.7}$$

În cazul considerat, $\alpha = 140°$ și $\cos 70° = 0{,}342$

$$R = 2 \cdot 420 \cdot 0{,}342 = 288 \text{ kgf}.$$

Deci, în dreptul fiecărui izolator conductoarele vor acționa asupra stîlpului printr-o forță orizontală R, în cazul considerat de 288 kgf (fig. 16—8).

Aceste forțe trebuie să fie echilibrate de forța de tracțiune T din ancoră. Pentru a determina forța T se calculează momentul forțelor R față de sol, adică se înmulțește fiecare din ele cu distanța respectivă pînă la pămînt. Rezultă deci:

$$M = 288 \cdot 7{,}3 + 288 \cdot 6{,}8 + 288 \cdot 6{,}3 = 5\,865 \text{ kgfm}.$$

Acest moment trebuie să fie echilibrat de momentul forței de tracțiune T față de punctul unde stîlpul intră în pămînt, adică

$$M = Td. \tag{16.8}$$

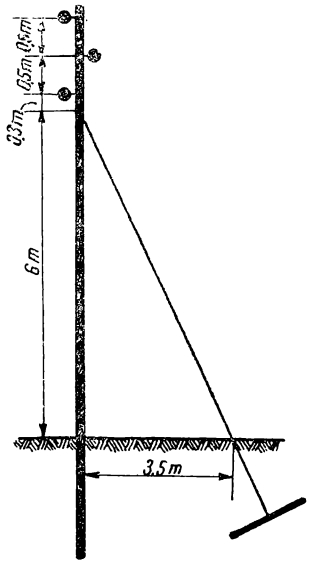


Fig. 16—6. Stîlp de colț cu ancoră, cu dimensiunile necesare pentru calculul ancorei.

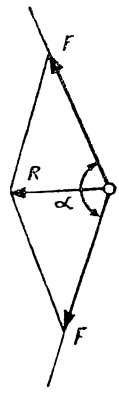


Fig. 16—7. Compunerea forțelor din conductoare.

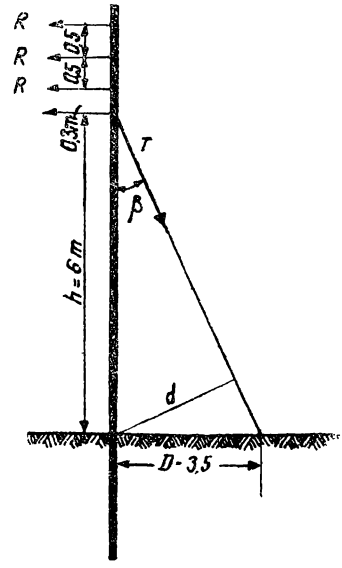


Fig. 16—8. Forțele care acționează asupra stîlpului cu ancoră.

Distanța d nu poate fi măsurată direct, deci se scrie

$$d = h \sin \beta = h \frac{D}{\sqrt{D^2 + h^2}}, \tag{16.9}$$

$$M = T \frac{hD}{\sqrt{D^2 + h^2}}, \tag{16.10}$$

$$T = M \frac{\sqrt{D^2 + h^2}}{hD}. \tag{16—11}$$

Pentru exemplul considerat

$$T = 5\,865 \frac{\sqrt{3{,}5^2 + 6^2}}{3{,}5 \cdot 6} = 1\,940 \text{ kgf}.$$

Deci, trebuie instalată o ancoră care să reziste la o forță de tracțiune de 1 940 kgf.

Pentru cablul care formează ancora se adoptă în calcule un coeficient de siguranță. Astfel, dacă pentru cablul respectiv se indică forța de rupere, se ia un coeficient de siguranță egal cu 3. Deci, forța de rupere pentru ancora din exemplul anterior este de cel puțin

$$1\,940 \cdot 3 = 5\,820 \simeq 6\,000 \text{ kgf}.$$

Dacă nu se cunoaşte forţa de rupere a cablului se poate, totuşi, determina secţiunea lui. Astfel, cablurile de oţel zincat din care se confecţionează ancorele au o rezistenţă de rupere de 120 kgf/mm². Rezistenţa admisibilă luată în calcule este deci : 120 : 3 = 40 kgf/mm².

În cazul de faţă, dacă se împarte tracţiunea T aflată la rezistenţa admisibilă de 40 kgf/mm², se determină secţiunea S a cablului pentru ancoră :

$$S = \frac{T}{\sigma} = \frac{1\,940}{40} = 48{,}5 \text{ mm}^2.$$

Se alege un cablu normalizat de 50 mm².

Întrebări recapitulative

1. Ce forţe acţionează asupra unui stîlp de colţ ?
2. La ce serveşte ancora la un stîlp de colţ ?
3. Din ce se confecţionează ancorele stîlpilor ?

VERIFICAREA STABILITĂŢII FUNDAŢIILOR

S-a arătat că forţele exterioare care acţionează asupra stîlpului dau un moment încovoietor total, care trebuie să fie echilibrat de rezistenţa stîlpului. În acelaşi timp, acest moment trebuie să fie echilibrat şi de reacţiunea terenului, altfel stîlpul s-ar răsturna. În figura 16—9 se văd, în cazul unui stîlp de lemn simplu, forţele p_1 şi p_2 reprezentînd reacţiunea terenului. Momentul acestor forţe depinde de adîncimea de îngropare a stîlpului, de diametrul stîlpului şi de calitatea terenului. Dacă stîlpul nu este îngropat suficient, momentul rezistent este prea mic, ajungîndu-se la răsturnarea stîlpului, care antrenează o porţiune de teren avînd forma din figura 16—9. Unghiul α depinde de natura terenului.

Pentru ca stabilitatea stîlpului să fie asigurată, momentul de reacţiune M_r al terenului trebuie să fie mai mare decît momentul de răsturnare M al forţelor exterioare :

$$K = \frac{M_r}{M} \geqslant 1 \qquad (16.12)$$

În practică, coeficientul K se ia egal cu cel puţin 1,5.

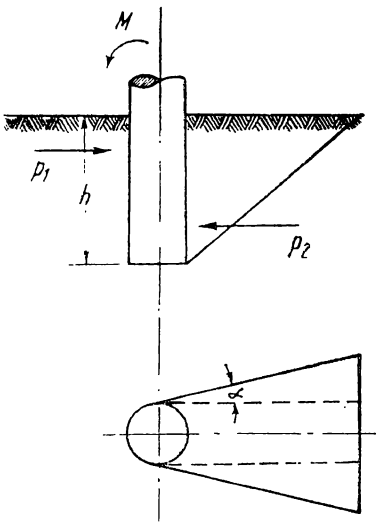


Fig. 16—9. Stabilitatea fundației stîlpului.

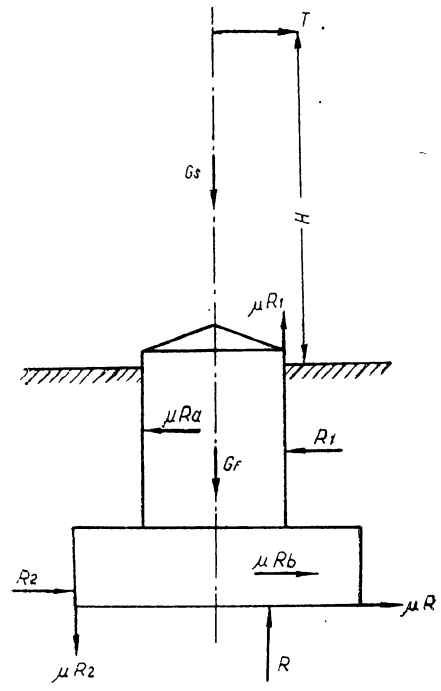


Fig. 16—10. Forțele care acționează asupra fundației.

La stîlpii de lemn stabilitatea fundației se verifică cu formula practică cunoscută, din care rezultă adîncimea de îngropare a stîlpului în teren.

La liniile importante se face un calcul mai complet, în care se ține seama atît de momentul de răsturnare, cît și de greutatea stîlpului și a fundației.

În astfel de cazuri, forțele care se iau în considerare în calculul fundației sînt arătate în figura 16—10. Stîlpul transmite fundației o forță verticală G_s (greutatea totală a stîlpului, inclusiv conductoarele, izolatoarele și armăturile) și un moment încovoitor M, produs de rezultanta forțelor orizontale T, care acționează la înălțimea H.

Momentul de răsturnare este echilibrat de momentele reacțiunii solului sub talpa fundației R, pe fețele laterale R_1 și R_2, precum și de momentele de frecare dintre fundație și sol : μR, μR_1, μR_2, μR_a și μR_b (μ este coeficientul de frecare dintre fundație și sol, care variază între 0,1 și 0,5). Greutățile : G_s a stîlpului, G_f a fundației și G_p a solului antrenat de fundație sînt echilibrate de componentele verticale ale acestor reacțiuni și forțe de frecare.

Forțele R, R_1 și R_2 nu sînt însă forțe concentrate, ci presiuni, care nu sînt egal repartizate pe suprafața tălpii și pe suprafețele laterale.

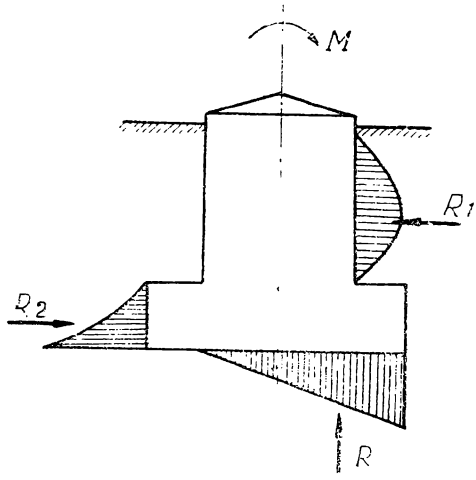


Fig. 16—11. Repartiția presiunilor pe suprafețele fundației.

În figura 16—11 este arătată repartiția acestor presiuni pe suprafețele fundației (respectiv asupra solului). La calculul fundației trebuie să se țină seama ca aceste presiuni să nu depășească presiunea admisibilă a solului respectiv. Pentru solurile obișnuite rezistența admisibilă variază între 1 și 3,5 kgf/cm^2.

Trebuie reținut, în concluzie, că verificarea unei fundații este o problemă complexă, fiind necesar să se calculeze atît stabilitatea la răsturnare, cît și presiunea exercitată de fundație asupra solului.

Întrebări recapitulative

1. Cum se verifică stabilitatea fundației stîlpilor?
2. Care sînt principalele forțe și momente care trebuie luate în considerare la calculul complet al unei fundații?
3. Între ce valori este cuprinsă rezistența admisibilă a solului?

Partea a cincea

STAȚII ELECTRICE

Capitolul XVII

TIPURI DE STAȚII ȘI ELEMENTELE ACESTORA

ELEMENTELE STAȚIILOR ELECTRICE

În ansamblul instalațiilor electroenergetice, stațiile electrice ocupă un loc important. În stațiile electrice se face ridicarea sau coborîrea tensiunii (stații de transformare), precum și racordarea liniilor de transport și de distribuție a energiei electrice (stații de conexiune). Deși stațiile pot îndeplini diferite funcțiuni, principalele lor elemente nu se deosebesc fundamental, ci sînt în cea mai mare parte comune.

În cele ce urmează se vor descrie principalele elemente care compun stațiile electrice. Instalațiile electrice de înaltă tensiune conțin aparate diferite, în funcție de tensiune și de locul de instalare (în încăperi închise sau în aer liber).

Pentru ca numărul de tipuri de aparate să fie cît mai mic, s-au adoptat anumite tensiuni standardizate. Fabricile de aparataj produc numai aparate pentru tensiunile standardizate. La noi în țară se fabrică aparataj pentru tensiunile de 6, 10, 15, 35 și 110 kV. În viitorul apropiat se va trece la fabricarea de aparate de tensiune și mai mare.

Instalațiile electrice cu tensiuni superioare tensiunii de 35 kV se fac de obicei în aer liber (de tip exterior). Aparatele aparținînd acestor instalații se deosebesc de aparatele destinate instalațiilor interioare. Deosebirile sînt de ordin constructiv și sînt dictate de condițiile mai grele de funcționare (ploaie, zăpadă, ceață, praf).

Instalațiile de înaltă tensiune se compun din părți conducătoare de curent (conductoare, bare) și aparate, ca : separatoare, întrerupătoare, siguranțe de înaltă tensiune, descărcătoare, bobine de reactanță, transformatoare de curent, de tensiune, de putere etc.

IZOLATOARELE STAȚIILOR ELECTRICE

Izolatoarele întrebuințate în stațiile electrice servesc la fixarea pieselor conducătoare de curent, cu scopul de a le izola de alte părți ale instalației și față de pămînt.

Proprietățile electrice și mecanice necesaie izolatoarelor impun caracteristicile lor constructive.

Izolatoarele din stații sînt confecționate de obicei din porțelan și se împart, din punctul de vedere al destinației, în izolatoare-suport și izolatoare de trecere.

După locul de montare, izolatoarele se împart în : izolatoare de tip interior și izolatoare de tip exterior.

Izolatoarele-suport se folosesc la susținerea barelor (colectoare și de derivație) și la fixarea părților din aparatajul electric aflat sub tensiune ; se fabrică pentru diferite forțe de rupere. Interesează sarcina de rupere, întrucît, la apariția scurtcircuitelor, izolatoarele care susțin barele sînt supuse la sarcini puternice.

În figura 17—1 este reprezentat un izolator-suport pentru bare de 6 kV.

La partea superioară izolatorul este prevăzut cu o capă de fontă de care se prind barele cu ajutorul unor armături de fixare. La partea inferioară izolatorul are o flanșă de fontă, care servește la fixarea izolatorului pe construcția metalică a stației de transformare.

Armăturile de fontă (capacul și flanșa) se prind de izolatorul de porțelan cu ajutorul unui liant, care poate fi litargă cu glicerină sau ciment.

În instalațiile de distribuție de tip exterior se utilizează izolatoare-suport cu tijă dreaptă (fig. 17—2). *Izolatorul suport cu tijă dreaptă* se compune din părțile de porțelan *1* și *2*, capacul de fontă *3* și o tijă de fontă cu flanșă *4*; toate aceste elemente sînt fixate între ele cu ajutorul unui chit special *5*.

Aceste izolatoare se pot asambla mai multe, așezîndu-le unul peste altul ; se obține astfel o coloană de izolatoare-suport. Astfel de coloane se utilizează în instalațiile de distribuție cu tensiunea mai înaltă decît cea prevăzută pentru un singur izolator-suport. De exemplu, pentru instalațiile de 110 kV se întrebuințează coloane formate din trei izolatoare de 35 kV. Pentru suspensia barelor din conductor flexibil neizolat (în stațiile de tip exterior) se utilizează izolatoare de suspensie cu capă. Alegerea numărului de izolatoare din lanț se face în funcție de tensiunea instalației, ca la liniile electrice aeriene.

Izolatoarele de trecere servesc pentru trecerea barelor conductoare de curent prin pereții despărțitori și sînt prevăzute în partea de mijloc cu o

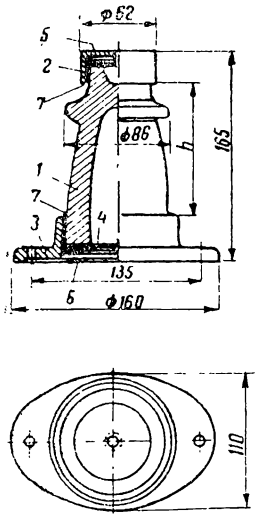


Fig. 17—1. Izolator-suport pentru bare, de 6 kV:

1 — corp de porțelan; *2* — capac de fontă; *3* — bază de fontă cu flanșă; *4* — placă de carton sau tablă; *5* și 6 — șaibe de carton; *7* — chit de fixare și etanșare.

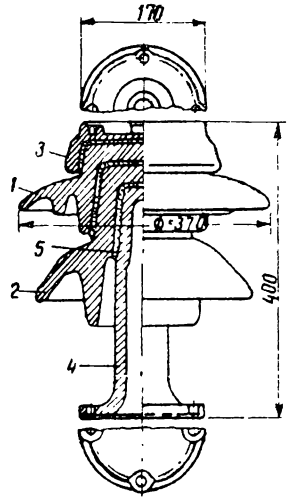


Fig. 17—2. Izolator-suport cu tijă dreaptă, de 35 kV.

flanșă, cu ajutorul căreia se fixează de peretele care trebuie străbătut. În golul din interiorul izolatorului este prinsă o tijă de cupru, care se prinde de bare cu șuruburi (fig. 17—3) sau însăși bara este trecută prin izolator, pentru a elimina îmbinările cu șuruburi (fig. 17—4), atunci cînd curenții sînt mari.

Izolatoarele de trecere interior-exterior au partea dinspre exterior mai mare decît cea dinspre interior (fig. 17—5) și dimensionată să reziste in-

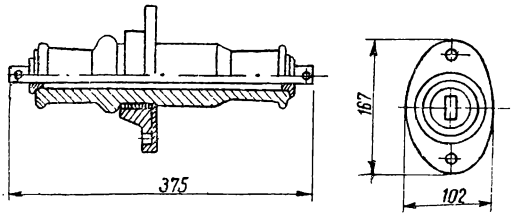


Fig. 17—3. Izolator de trecere pentru interior, de 6 kV și 400 A.

Fig. 17—4. Izolator de trecere pentru bare, de 10 kV:

1 — corp de porțelan; *2* — flanșă: *3* — capac; *4* — placă de oțel; *5* — șurub pentru legare la pămînt; *6* — chit liant.

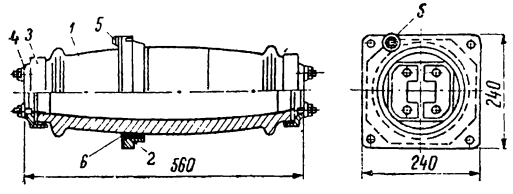
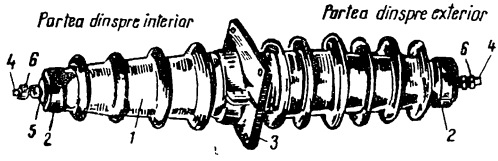


Fig. 17—5. Izolator de trecere interior-exterior, de 35 kV și 600 A:

1 — corp de porțelan; *2* — capace; *3* — flanșă; *4* — tijă conducătoare de curent; *5* — șaibă de centrare; *6* — piulițe pentru fixarea barelor.



temperiilor. Izolatoarele de trecere se folosesc și pentru aparate, cum sînt, de exemplu, izolatoarele de trecere ale transformatoarelor și întrerupătoarelor.

Izolatoarele de trecere folosite pentru aparate, la tensiuni peste 35 kV, sînt umplute cu ulei. La aceste izolatoare tija conducătoare de curent trece prin mijlocul corpului de porțelan umplut cu ulei de transformator. În interiorul izolatorului de porțelan (în ulei), în jurul tijei conducătoare de curent, se află cîteva rînduri de cilindri izolanți de bachelită sau de pertinax. Cilindrii izolanți, uleiul și izolatorul de porțelan creează o rigiditate dielectrică ridicată a izolatorului și îi asigură o bună funcționare, chiar și în atmosferă umedă.

Întrebări recapitulative

1. La ce servesc stațiile electrice și cum se clasifică ele ?
2. Care este rolul izolatoarelor în cadrul stațiilor electrice și cum se clasifică ele ?
3. Ce particularități constructive prezintă izolatoarele din stații și cum se montează ele ?

BARELE STAȚIILOR ELECTRICE

Conexiunile din stațiile electrice se efectuează în marea lor majoritate prin intermediul unor *sisteme de bare*, care pot fi *bare colectoare* și *de derivație*.

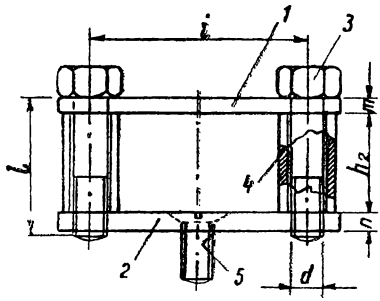
Barele principale ale stației se numesc bare colectoare.

Barele care se ramifică la aparatele stației pentru plecări, precum și la aparatele de măsurare, se numesc bare derivate sau de derivație.

Barele stațiilor interioare se execută din cupru, aluminiu sau oțel, avînd forme dreptunghiulare sau cilindrice. Barele de oțel sînt utilizate în instalațiile mici de importanță locală și la curenți de maximum 200 A, datorită slabelor proprietăți conducătoare. Barele stațiilor exterioare se execută din conductor flexibil neizolat, de obicei de oțel-aluminiu sau cupru.

Barele pentru legarea instalațiilor la pămînt se fac exclusiv din oțel.

La curenții mari de mii de amperi se utilizează pachete de bare formate din două sau din mai multe bare alăturate. Între ele se introduc șaibe speciale, pentru a le distanța una de alta, creîndu-se astfel goluri pentru răcirea lor.



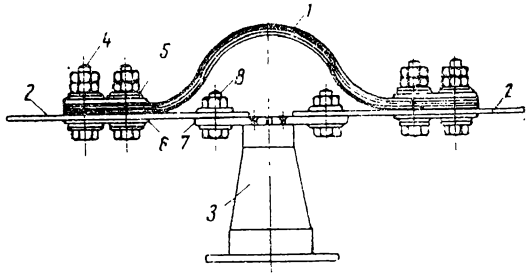


Fig. 17—7. Piesă de dilatare pentru bare.

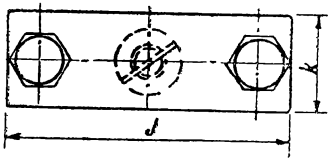


Fig. 17—6. Jug pentru fixarea barelor.

Barele sau pachetele formate cu ele se fixează pe izolatoare-suport cu ajutorul *jugurilor de prindere.*

Un astfel de jug se vede în figura 17—6. Acesta este constituit dintr-o placă superioară de strîngere *1*, din oțel, și o placă inferioară *2*, care se prinde pe capacul izolatorului cu șurubul *5*. Cele două plăci *1* și *2* se strîng una către alta cu ajutorul șuruburilor *3*. Strîngerea este limitată de distanțatoarele *4*. Se menționează că barele nu trebuie presate, ci trebuie lăsate să alunece prin armătură la variații de temperatură, cînd se dilată sau se contractă.

La armăturile de fixare a barelor utilizate la curenți mai mari decît 600 A, placa superioară de strîngere sau șuruburile la una din părți se fac din material nemagnetic, pentru a evita încălzirea suplimentară a barelor, datorită pierderilor prin curenți turbionari și prin histerezis magnetic.

Dacă barele colectoare au lungimi mari (peste 20 m), pentru a le asigura posibilitatea de dilatare la încălzire se montează legături flexibile numite *piese de dilatare.* O astfel de piesă este reprezentată în figura 17—7. Piesa de dilatare este confecționată din fîșii flexibile *1*, de cupru, prinse de capetele barelor *2* prin intermediul buloanelor *4*, al șaibelor *5* și al garniturilor *6*. Totul se fixează pe un izolator suport *3*. Cu *8* este notat bulonul de fixare a barelor. Eclisa *7* are găurile rotunde, în timp ce barele au găurile ovale, pentru a se deplasa ușor la dilatare. Buloanele *8* nu se strîng.

În lipsa pieselor de dilatare, solicitările date de bare în timpul dilatărilor ar putea conduce la distrugerea izolatoarelor.

Barele sînt elemente importante în instalațiile stațiilor. O avarie la bare duce la sistarea livrării energiei electrice la consumatori și deci la pagube

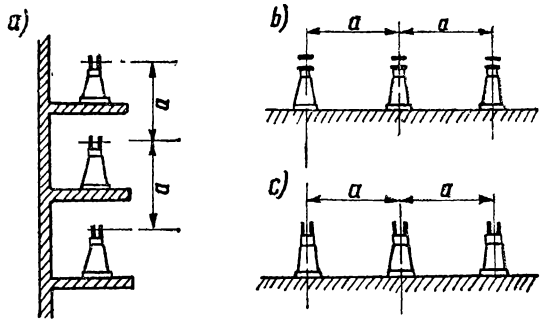


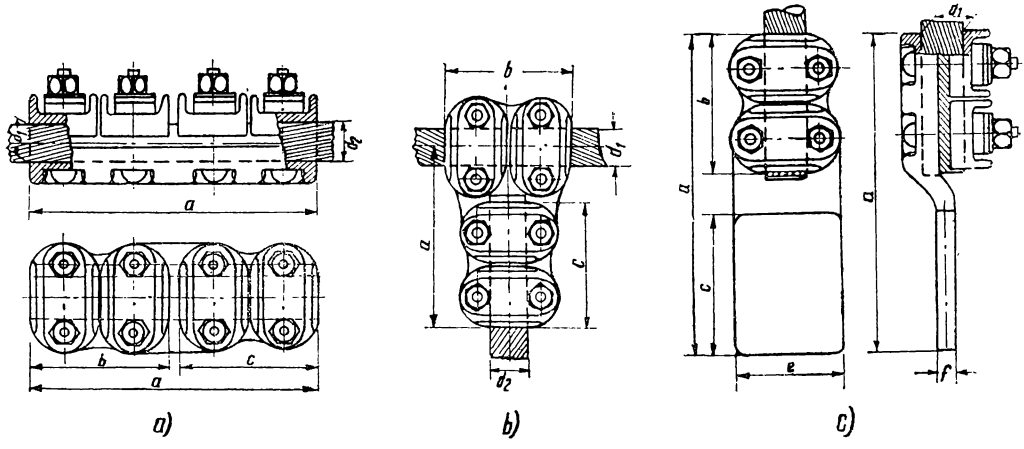
Fig. 17—8. Diferite moduri de așezare a barelor :
a — așezare în plan vertical; *b* — așezare în plan orizontal pe lat; *c* — așezare în plan orizontal pe muchie.

materiale. Ele trebuie bine fixate ca să reziste la solicitările electrodinamice, care acționează asupra lor la trecerea curenților de scurtcircuit.

O importanță deosebită o are modul de așezare a barelor. În figura 17—8 se pot vedea diferite moduri de așezare a barelor. Așezarea în plan vertical (fig. 17—8, *a*) este cea mai avantajoasă pentru răcire și ca rezistență la acțiunile electrodinamice, dar ocupă loc mult. Mai des, barele se așază în plan orizontal, cu așezarea barei pe lat (fig. 17—8, *b*) sau pe muchie (fig. 17—8, *c*). Așezarea barei pe lat este dezavantajoasă pentru răcire, dar rezistența mecanică este ridicată. La așezarea pe muchia barei situația este inversă, dar rezistența mecanică este asigurată prin fixarea izolatoarelor de-a lungul barei corespunzător eforturilor date de curentul maxim de scurtcircuit.

Pentru identificarea fazelor, barele se vopsesc în culori diferite, astfel : faza *R* — roșu, faza *S* — galben și faza *T* — albastru.

Fig. 17—9. Cleme pentru bare :
a — clemă dreaptă de înnădire tip STAL; *b* — clemă de derivație tip STAD; *c* — clemă pentru aparate tip STAI



Legarea barelor circulare între ele se face cu cleme drepte de contact, iar legăturile între barele generale și barele de derivație se execută cu cleme de derivație.

Pentru legăturile barelor se folosesc *cleme de contact.*

În figura 17—9 sînt reprezentate clemele drepte pentru înnădiri (fig. 17—9, *a*), clemele cu derivație (fig. 17—9, *b*) și clemele pentru aparate (fig. 17—9, *c*).

Pentru legături cupru-aluminiu se folosesc plăcuțe bimetalice *cupal.*

Întrebări recapitulative

1. Cîte feluri de sisteme de bare se folosesc într-o stație?
2. Din ce se construiesc sistemele de bare?
3. Cum se montează și cum sînt vopsite barele electrice?

ÎMBINAREA BARELOR

La montarea barelor colectoare și de derivații ale stațiilor noi sau, în unele cazuri, de extindere a barelor stațiilor care se amplifică, apare necesitatea de îmbinare a barelor între ele.

Îmbinarea barelor se execută, îndeosebi, după următoarele procedee:

— îmbinarea prin șuruburi sau prin piese speciale (cleme);

— îmbinarea prin sudare sau prin presare la rece (sudare la rece).

Îmbinarea prin șuruburi sau piese speciale asigură o legătură simplu de realizat, este demontabilă, necesită manoperă mică, dar din punct de vedere electric este inferioară îmbinării prin sudare, care, deși este mai dificil de realizat, necesitînd scule pretențioase și personal cu calificare superioară, din punct de vedere electric este preferabilă îmbinării prin șuruburi, întrucît asigură un contact electric mai bun și deci o rezistență de contact mai mică.

Barele care urmează a fi îmbinate, trebuie mai întîi tăiate la dimensiunile necesare cu ajutorul foarfecilor de banc sau, în lipsa acestuia, cu ajutorul ferăstrăului de metal, după care este absolut obligatorie eliminarea bavurilor rezultate din tăieturi, cu ajutorul unor pile aspre. Pentru barele de aluminiu se vor întrebuința scule separate (pînze de ferăstrău, bacuri de tăiat, pile, burghii spirale etc.), care nu se folosesc la prelucrarea altor metale.

1. Îmbinarea prin șuruburi sau piese speciale (eleme)

Barele tăiate se găuresc la locurile de îmbinare cu ajutorul mașinilor de găurit electrice portabile sau fixe sau cu ajutorul unui dispozitiv de găurit numit „duplex".

După găurire suprafețele de îmbinare se prelucrează astfel ca să se asigure o suprafață netedă, se curăță frecîndu-le cu ajutorul periilor de sîrmă și se ung cu vaselină tehnică.

Dacă barele urmează să se monteze în instalații unde există substanțe chimice (camere de electroliză, acumulatori, diferite procese ale industriei chimice) suprafețele de contact se cositoresc. Aceasta se realizează în baie de aliaj de cositor, folosindu-se ca decapant pastă de lipit sau colofoniu (sacîz)*.

Barele astfel pregătite se suprapun și se prind cu ajutorul unor șuruburi speciale din oțel sau din bronz. Pentru evitarea slăbirii legăturilor se folosesc șaibe de siguranță galvanizate și șaibe plate.

Numărul de șuruburi, dimensiunile acestora și suprafețele de suprapunere depind de dimensiunile barelor care se îmbină.

Strîngerea șuruburilor se execută cu chei dinamometrice sau cu chei fixe pînă la aplatizarea șaibelor de siguranță, astfel încît să nu se producă deformația barelor.

În figura 17—10, *a* este reprezentată o îmbinare în prelungire pentru barele de aluminiu, iar în figura 17—10, *b* o îmbinare de derivație.

În cazul îmbinărilor de bare de aluminiu cu bare de cupru sau bronz între suprafețele de contact se așază plăcuțe de cupru aluminiu (cupal),

* Suprafețele de contact ale barelor de oțel folosite la instalațiile de punere la pămînt se cositoresc indiferent de locul unde se montează.

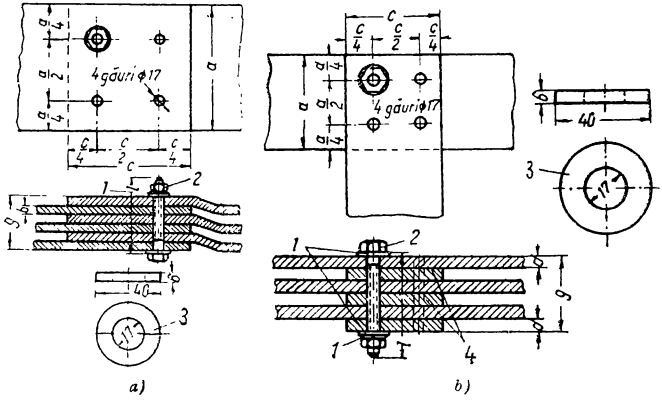
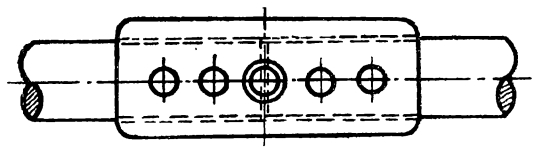


Fig. 17—10. Îmbinare de bare de aluminiu în prelungire și îmbinare în derivație:
1 — inel de siguranță N. 16; *2* — șurub M 16; *3* — șaibă.

Fig. 17—11. Bară circulară îmbinată cu manșon de cupru.



astfel încît să nu existe contact direct între cele două secțiuni de bare din metale diferite. Pentru îmbinarea barelor circulare se folosesc manșoane de cupru care îmbracă capetele barelor în locul de îmbinare.

Manșoanele sînt prevăzute cu șuruburi de fixare, iar la mijloc au un orificiu pe unde se toarnă cositor între capetele barelor. Astfel de bare din cupru sînt folosite la bateriile de acumulatoare.

Pentru consolidarea legăturii, barele se suprapun și se strîng între ele cu ajutorul unor piese de fontă turnată sau din alte materiale nemagnetice.

2. Îmbinarea prin sudare sau prin presare la rece

Sudarea barelor se execută oxiacetilenic în capete. Înainte de sudare barele se curăță de oxizi și murdărie, iar cele cu o grosime mai mare de 5 mm se teșesc la capete sub un unghi de 45°, pentru a asigura o suprafață de contact cît mai mare.

Pentru sudarea barelor de cupru se folosesc electrozi de cupru electrolitic cu 5% argint, avînd diametrul cam jumătate din grosimea barelor. Pentru reușita sudării se folosește un fondant pe bază de borax. După sudare îmbinarea se ciocănește la o temperatură de 200—300°C, după care se încălzește la 500—600°C și se răcește brusc în apă. Legătura se întărește prin ciocănirea îmbinării cu un ciocan plat pe o placă de cupru.

Pentru sudarea barelor de aluminiu se folosesc electrozi din sîrmă de aluminiu cu diametrul de 2—3 mm, iar drept fondant se folosește o pastă specială pentru sudarea aluminiului.

Capetele barelor care se îmbină se așază într-o formă de oțel acoperită în interior cu o suspensie de humă sau afumată cu arzătorul aparatului de sudat pentru a nu adera la îmbinare.

Forma se încălzește pe toate părțile pînă capătă culoare roșu-vișiniu, iar capetele barelor se topesc cu ajutorul arzătorului pe toată secțiunea. Electrodul se introduce progresiv în baia de metal topit, umplînd forma pînă cînd masa topită depășește grosimea barelor cu 3—4 mm.

După terminarea sudării, forma se acoperă astfel ca răcirea să se facă lent. După răcire sudura se ciocănește cu un ciocan de lemn și se fasonează cu pila.

Îmbinarea prin presare la rece (sudarea la rece) se execută cu un dispozitiv special, prevăzut cu bacuri capabile să transmită suprafeței de contact presiuni de 40—70 kg/mm^2 care provoacă sudarea.

Reușita sudării este condiționată de o curățire mecanică corespunzătoare a locurilor de îmbinare.

Întrebări recapitulative

1. Ce fel de îmbinări se folosesc la barele colectoare și de derivație?
2. Care sînt avantajele și dezavantajele pe care le comportă cele două tipuri de îmbinări folosite?
3. Care sînt principalele operații care caracterizează efectuarea celor două tipuri de îmbinări?

CONTACTELE ELECTRICE. ARCUL ELECTRIC ȘI PUTEREA DE RUPERE A ÎNTRERUPĂTOARELOR

1. Contactul electric

Contactul electric constituie un element deosebit de important în construcția aparatelor de comutare și întrerupere a circuitelor electrice (separatoare, întrerupătoare etc.).

Materialul, forma și dimensiunile contactelor trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— să reziste timp nelimitat la trecerea prin ele a curentului pentru care au fost construite;

— să reziste (circa 5 s) la cei mai mari curenți de scurtcircuit care pot apărea în instalație;

— să reziste la închideri și deschideri repetate;

— să nu se uzeze sub acțiunea arcului electric care apare la deschiderea și la închiderea circuitelor;

— sub acțiunea căldurii să nu-și piardă proprietățile inițiale.

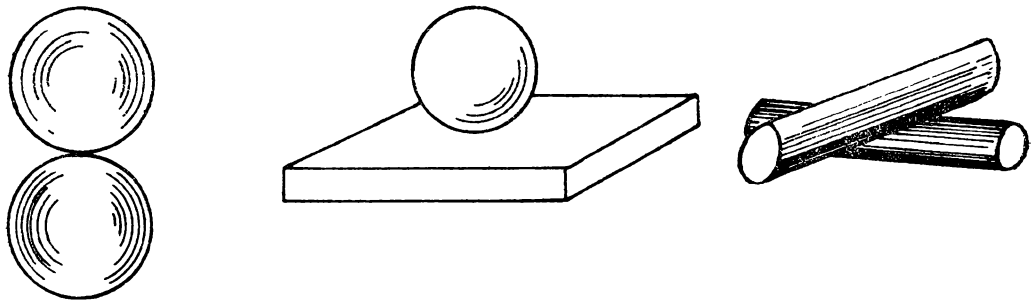


Fig. 17—12. Contacte punctiforme.

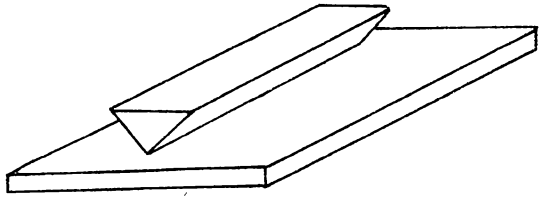


Fig. 17—13. Contact liniar.

Pentru respectarea condițiilor enumerate, contactele se construiesc din metale și aliaje speciale, cum sînt : cuprul, argintul, platina, oțelul, precum și aliaje ale acestora. În general, materialele cu conductivitate electrică ridicată se comportă bine și la temperaturi ridicate, întrucît au și conductivitate termică corespunzătoare. Eliminarea efectelor de distrugere a contactelor sub acțiunea arcului electric se obține utilizîndu-se materiale greu fuzibile. Rezultate bune s-au obținut cu aliaje metalo-ceramice de argint, cupru cu wolfram sau molibden etc.

Aliajele de argint și wolfram sînt cele mai indicate pentru contactele care lucrează în aer, iar cele de cupru și wolfram sau cupru și molibden, pentru contactele de stingere a arcului care lucrează în ulei.

Din punctul de vedere al suprafețelor în atingere, contactele electrice se clasifică în contacte punctiforme, contacte liniare și contacte de suprafață.

Contactul punctiform se realizează practic într-un punct, de exemplu între două sfere, o sferă și un plan sau între doi cilindri încrucișați (fig. 17—12).

Contactul liniar se obține, de exemplu, între un cilindru și un plan sau între o muchie de prismă și un plan (fig. 17—13).

Prin suprapunerea a două plane se obține un *contact de suprafață*. Acestea se întîlnesc mai des la legătura barelor între ele. Din punctul de vedere al rezistenței de contact, acestea sînt cele mai dezavantajoase.

Fig. 17—14. Contact de suprafață : detaliu mărit.

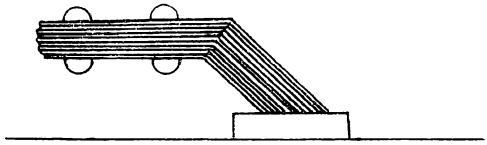


Fig. 17—15. Contact - perie.

Un contact electric are rezistența — numită *rezistență de contact* — diferită de aceea a conductorului. În urma experimentărilor efectuate s-a stabilit că contactul electric nu se face pe întreaga suprafață vizibilă, ci pe niște suprafețe foarte mici, invizibile cu ochiul liber, datorită neregularității suprafețelor de contact, astfel încît atingerea se face pe porțiuni mult mai mici (fig. 17—14).

Suprafața microscopică reală de contact este de o mie pînă la zece mii de ori mai mică. Dacă se apasă contactele cu o forță F, aceasta se repartizează asupra suprafeței totale S, dînd o presiune $p = \frac{F}{S}$, care deformează neregularitățile suprafețelor.

Rezistența de contact depinde de presiune și de temperatură.

Cu cît presiunea este mai mare, cu atît contactul este mai bun, deoarece rezistența de contact este invers proporțională cu presiunea aplicată, a cărei valoare depinde de materialul și de felul contactului.

Contactele se încălzesc mai mult decît conductoarele. Pe măsură ce crește temperatura, crește rezistența de contact și căderea de tensiune pe acesta. La atingerea unei anumite temperaturi contactele se pot deforma și suda, lucru inadmisibil în regim de funcționare.

În trecut se foloseau suprafețe mari de contact și, fiind nevoie de o presiune uniformă, se construiau așa-zisele contacte-perie din lamele suprapuse (fig. 17—15). Acestea nu au dat rezultate prea bune, deoarece s-a constatat că la curenți mari și supratemperaturi de peste 35 °C contactul nu se mai comportă satisfăcător și, cu timpul, își pierde elasticitatea. În locul lor au apărut contactele solide punctiforme (fig. 17—16). La aceste contacte se pot aplica presiuni mari, fapt care favorizează realizarea de rezistențe mici de contact și temperaturi admisibile (75 °C peste temperatura mediului ambiant).

Contactele liniare au caracteristici intermediare celor descrise. Un astfel de contact este contactul tulipă (lalea), care poate fi masiv sau lamelar (fig. 17—17).

Aceste contacte au avantajul că realizează, pe lîngă presiunea mecanică, o presiune proprie datorită forțelor electrodinamice de atracție date de

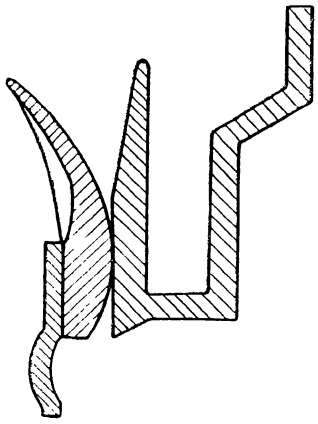


Fig. 17—16. Contact punctiform.

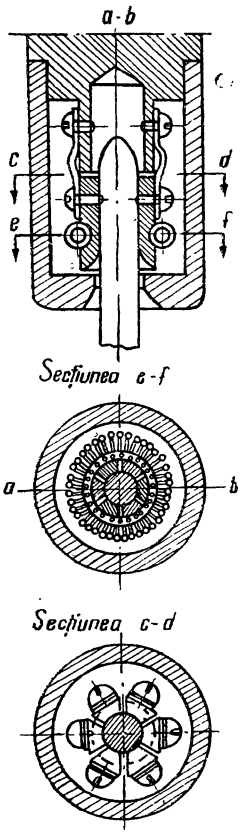


Fig. 17—17. Contact tip tulipă (lalea).

curenții de același sens. Laleaua strînge tija, pe măsură ce curentul crește. La astfel de contacte întreruperea se face în mai multe locuri, favorizînd stingerea arcului electric.

2. Arcul electric

Datorită reactanței inductive și capacității circuitelor electrice, cînd un contact se deschide și întrerupe un curent se produc fenomene tranzitorii (variații de tensiune și curent) și arc electric.

Factorii care influențează întreruperea sînt : tensiunea, curentul și viteza de rupere a arcului electric.

Contactul trebuie deschis astfel ca tensiunea care apare la borne să nu devină periculoasă, căci ea poate distruge izolația aparatelor.

Cu cît viteza de întrerupere este mai mare, cu atît se limitează efectele distructive ale arcului electric.

La curenți mari rezultă un arc electric care este cu atît mai mare, cu cît tensiunea pe contact este mai ridicată. Arcul electric este o coloană de gaze incandescente ionizate (fig. 17—18).

Gazul este ionizat și disociat din cauza temperaturii foarte ridicate. În figură se văd zonele din arcul electric care se deosebesc prin temperatura gazelor și gradul de ionizare.

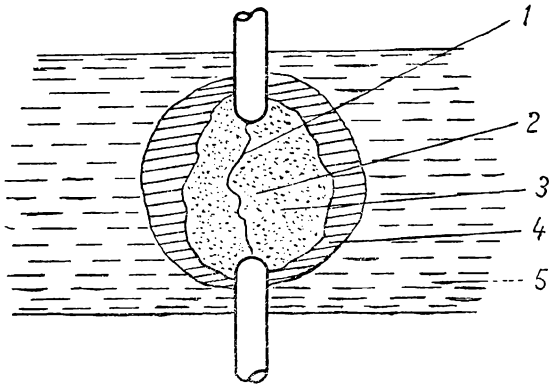


Fig. 17—18. Vedere schematică a unui arc în lichid:
1 — arc; *2* — gaze calde; *3* — aburi; *4* — lichid fierbinte; *5* — lichid rece.

La aparatele de comutare și de întrerupere este necesar ca durata de stingere a arcului electric să fie cît mai mică.

La întrerupătoarele de înaltă tensiune stingerea arcului electric se face prin diferite metode, care au ca rezultat răcirea gazelor ionizate, împrăștierea lor și înlocuirea cu gaze neionizate.

3. Puterea de rupere a întrerupătoarelor electrice

Întrerupătoarele de înaltă tensiune, ca și alte aparate de deconectare, se construiesc pentru anumite tensiuni nominale și curenți nominali cu care pot funcționa un timp îndelungat.

Posibilitățile de întrerupere a curenților electrici se definesc prin curentul și puterea de rupere a întrerupătoarelor.

Curentul de rupere este curentul maxim care poate fi întrerupt în mod sigur de întrerupător la tensiunea nominală a întrerupătorului, respectînd ciclul normal de funcționare (al întrerupătorului) pentru care acesta a fost fabricat, fără a rezulta defecte care l-ar scoate din funcționare.

Puterea nominală de rupere a întrerupătorului în megavoltamperi este dată de relația

$$P_{rnom} = \sqrt{3}\, I_{rnom} U_{intr.nom} \ \text{[MVA]}. \qquad (17.1)$$

Curentul de rupere al întrerupătorului, la o tensiune dată diferită de cea nominală, se determină pe cale experimentală.

Puterea de rupere depinde de forma constructivă a contactelor, de mediu și de dispozitivele de stingere a arcului.

Întrebări recapitulative

1. Ce este contactul electric?
2. Ce fenomene se petrec în contactele electrice?
3. Cum sînt construite contactele electrice?
4. Ce este arcul electric și cînd se produce?
5. Ce este puterea de rupere și care este expresia ei?

SEPARATOARE ELECTRICE

Separatoarele sînt aparate care servesc pentru scoaterea de sub tensiune a unei părți din instalație, după ce în prealabil curentul a fost întrerupt de întrerupătoare.

Separatoarele se pot clasifica după mai multe criterii. După locul de montare se deosebesc separatoare de interior și separatoare de exterior.

Separatoarele de interior sînt destinate montării și funcționării în încăperi închise. Ele se construiesc de obicei pentru tensiuni pînă la 35 kV.

Separatoarele de exterior, la aceeași tensiune, au izolație mai bună decît separatoarele de interior și se montează în aer liber. Ele se construiesc pentru tensiuni de la 15 kV în sus.

După numărul fazelor pe care le întrerup se deosebesc *separatoare unipolare* (monopolare) și *separatoare multipolare* (bipolare sau tripolare).

În afară de clasificările de mai înainte se mai pot face clasificări după valoarea tensiunii, după curenții nominali și după tipul acționării separatoarelor.

Alegerea tipului de separator care urmează a se monta într-o instalație se face după: tensiune, curentul nominal care va circula prin separator și locul de instalare (interior sau exterior). El trebuie să reziste termic și mecanic la curenți de scurtcircuit.

Separatorul nu poate să întrerupă curenți de sarcină. Arcul care se formează la contactele separatorului prin deschiderea acestora sub sarcină poate fi atît de puternic, încît să treacă pe faza vecină și să producă scurtcircuit; părțile separatorului parcurse de curent se pot topi, iar picăturile rezultate pot produce arsuri grave persoanei care a manevrat separatorul.

Separatorul se poate utiliza pentru deschiderea circuitelor numai după ce în prealabil circuitul a fost întrerupt cu ajutorul întrerupătorului. Prescripțiile de exploatare tehnică (PET) prevăd totuși cazuri excepționale, cînd se pot întrerupe curenți de sarcină avînd valori mici.

1. Separatoare pentru instalații interioare

Fiecare pol al separatorului se compune din două sau trei izolatoare-suport pe care se fixează contactele: *contactul mobil* și *contactul fix*.

Contactul fix este o furcă în care intră contactul mobil (cuțitul).

În figura 17—19 se vede un separator monopolar de interior de 6 kV și 200 A (tip SMI 6/200), iar în figura 17—20 se vede un separator tripolar de interior de 10 kV și 400 A (tip STI 10/400).

Cuțitele celor trei poli ai separatorului sînt legate prin tiranți de porțelan de axul comun, care se comandă de la dispozitivul de acționare. Cuțitele separatorului se rotesc în planul vertical. Cele două jumătăți ale cuțitului

Fig. 17—19. Separator monopolar de interior (6 kV și 200 A).

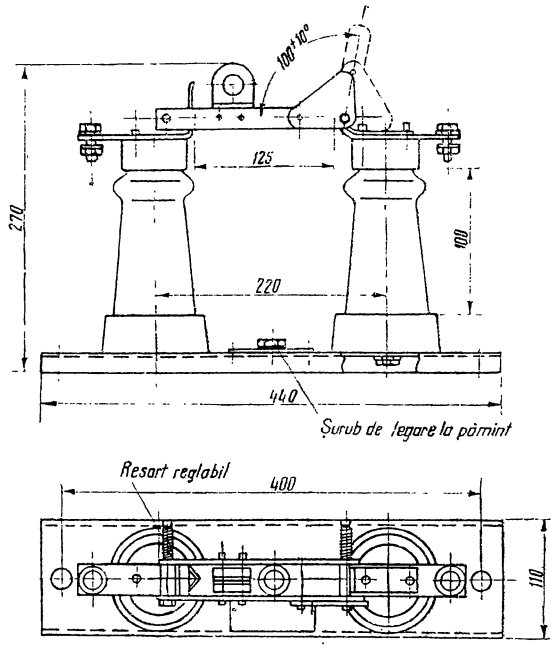
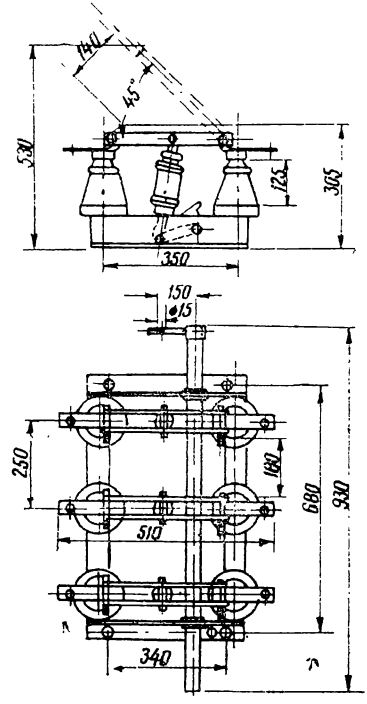


Fig. 17—20. Separator tripolar de interior (10 kV și 400 A).



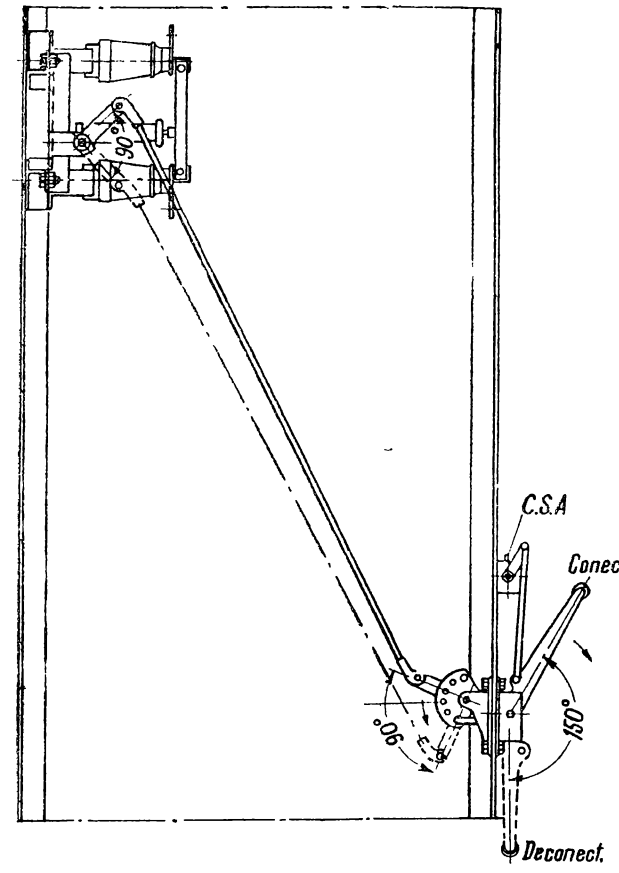


Fig. 17 -21. Dispozitiv de acționare tip AMI-1.

cuprind între ele bara contactului fix, realizînd un contact liniar. Presiunea pe contacte este asigurată cu ajutorul unui resort spiral.

Pentru comandarea separatoarelor se folosește prăjina de manevră, dispozitivul de acționare manuală cu pîrghie sau dispozitivul pneumatic.

În figura 17—21 se vede un *dispozitiv cu pîrghie* tip AMI-1, foarte mult utilizat în instalații.

Dispozitivele pneumatice au avantajul că pot fi comandate din camera de comandă. Ele se compun din cutia de comandă și pistonul de acționare.

În cutia de comandă se găsesc supapele de admisie a aerului la pistonul din cilindrul dispozitivului de acționare. Comanda de la distanță se realizează cu ajutorul electromagneților. Schema de principiu a unui astfel de dispozitiv este reprezentată în figura 17—22. Aerul necesar acționării dispozitivului sosește prin conducta *13* și este filtrat de filtrul *12*. Prin apăsare pe bu-

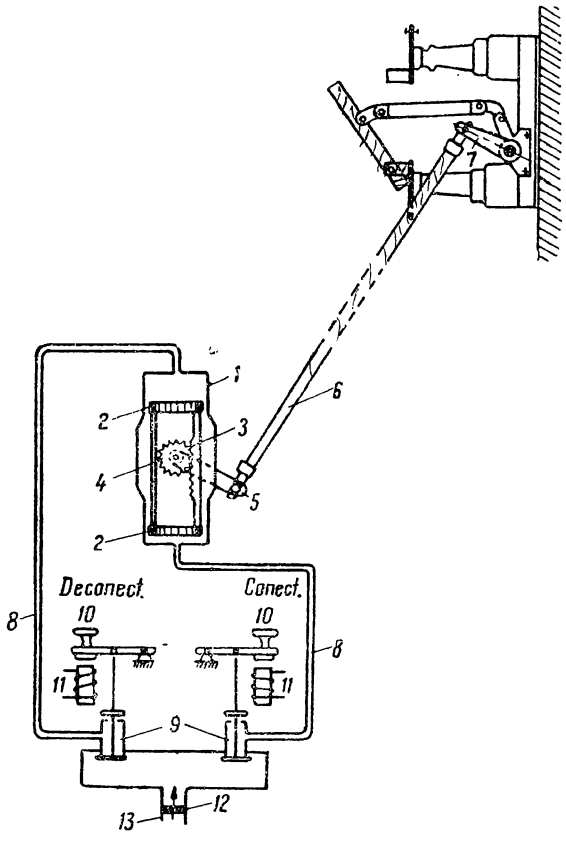


Fig. 17—22. Schema de principiu a dispozitivului de acționare pneumatic.

tonul *10* se deschide supapa *9*. Același lucru se poate obține prin alimentarea cu tensiune a bobinei *11*. Aceasta se poate face de la distanță. Prin deschiderea supapei *9* se dă liberă trecere aerului, care prin conducta *8* intră în cilindrul *1* pe la partea lui inferioară. Pistonul *2* este împins în sus și o dată cu el cremaliera *3*. Aceasta este angrenată cu pinionul *4*, căruia i se imprimă astfel o mișcare de rotație.

Prin intermediul manivelei *5* și al tijei *6*, mișcarea de rotație se transformă într-o mișcare rectilinie. La rîndul ei, mișcarea rectilinie se transformă din nou în mișcare de rotație prin intermediul manivelei *7* a separatorului care se închide.

Pentru deschidere, aerul intră pe la partea superioară a cilindrului *1*.

Montarea dispozitivului se face pe pereții metalici ai celulelor. Dispozitivul are contacte pentru semnalizarea funcționării.

Presiunea aerului necesară acționării este sub 10 atm.

2. Separatoarele pentru instalații exterioare

Separatoarele de exterior se execută pe izolatoare-suport cu tijă dreaptă. Izolația sporită împiedică apariția descărcărilor pe suprafață, cînd condițiile meteorologice sînt nefavorabile (ploaie, ceață, zăpadă).

Separatoarele de exterior se prevăd cu dispozitive pentru ruperea gheții, care apare în special la locurile de contact.

În figura 17—23 se vede un separator de exterior pentru 35 kV și 600 A (STE 35/600).

Întreg sistemul se fixează pe un cadru de oțel cornier. El are trei izolatoare : izolatoarele marginale sînt fixe, iar cel de la mijloc se rotește (fig. 17—23, *a*). Pe capa izolatorului de la mijloc este fixată pîrghia *3* (fig. 17—23,*b*), legată articulat de cadrul *2*, care cuprinde cuțitul separatorului *1*, executat din țeavă. La rotirea pîrghiei *3*, cadrul *2* întoarce inițial cuțitul separa-

Fig. 17—23. Separator de tip exterior de 35 kV : *a* — vedere generală ; *b* — mecanismul de acționare a cuțitului pentru spargerea gheții.

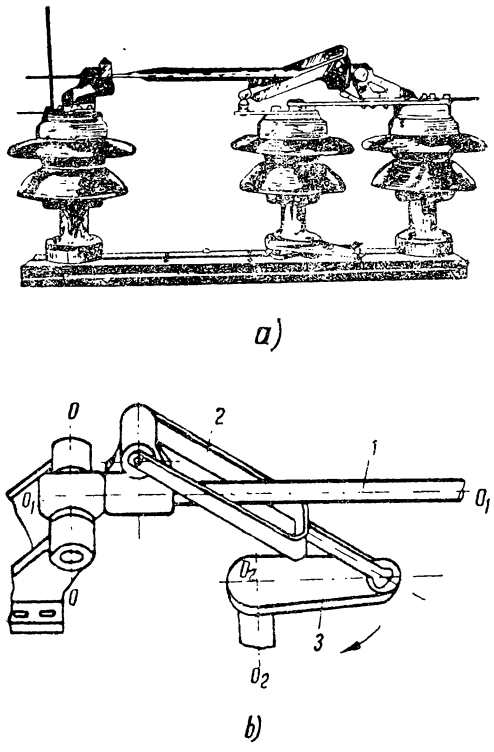
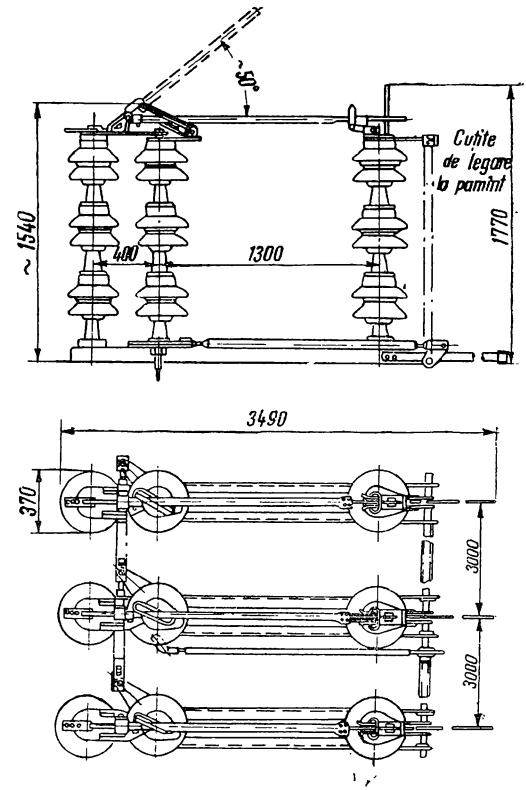


Fig. 17—24. Separator tripolar de 110 kV și 600 A, prevăzut cu cuțite de legare la pămînt (STEP—110—600).



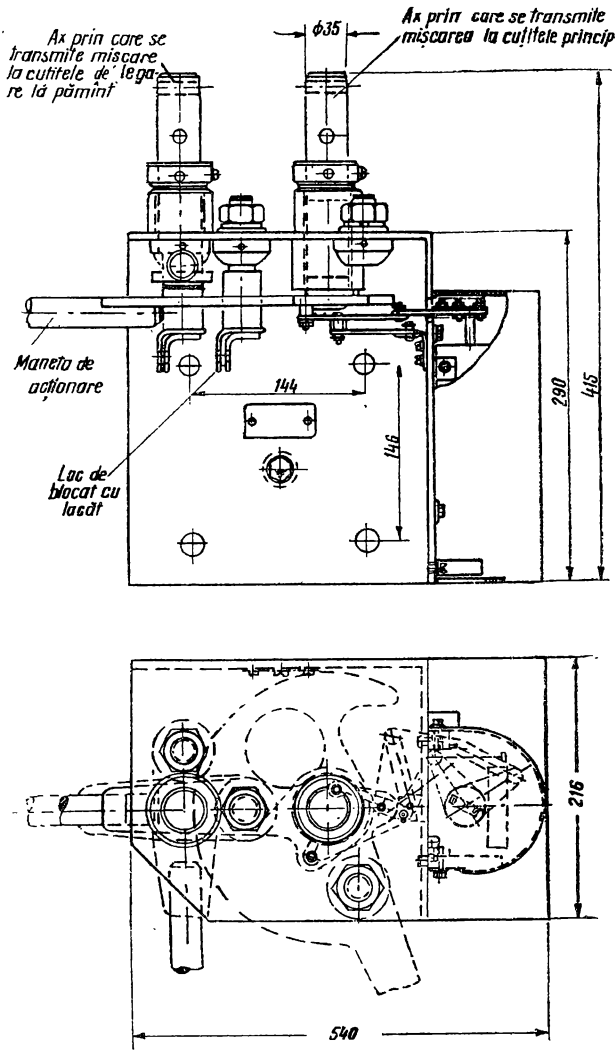


Fig. 17—25. Dispozitiv manual de acționare tip AME-3.

torului în jurul axei sale $O_1—O_1$, după care cuțitul începe să alunece în lungul cadrului și se ridică în sus, rotindu-se în jurul axului $O—O$, adică în plan vertical. Întoarcerea cuțitului în contactul fix pentru închidere asigură un contact liniar bun, datorită desfacerii cuțitului între fălci. Rotirea asigură ruperea gheții formate la contacte. În afară de cuțitele principale, unele separatoare care se montează pe plecările liniilor aeriene sînt prevăzute cu cuțite de legare la pămînt, cu ajutorul cărora, în caz de reparație, linia poate

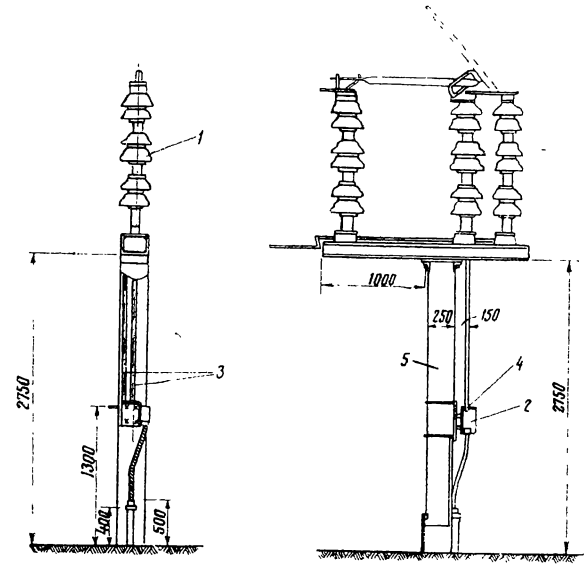


Fig. 17—26. Montarea separatorului monopolar de 110 kV cu cuțite de legare la pămînt:
1 — separator; *2* — dispozitiv de acționare; *3* — țeavă; *4* — comutator de semnalizare; *5* — suport de beton armat.

fi legată la pămînt. Între cuțitele principale și cele de legare la pămînt există un blocaj mecanic, care nu permite închiderea cuțitelor de legare la pămînt atît timp cît cuțitele principale sînt închise.

În figura 17—24 este reprezentată vederea de ansamblu a separatorului de 110 kV, prevăzut și cu cuțite de legare la pămînt.

Fiecare pol al separatorului se compune din trei coloane de izolatoare-suport, fiecare fiind formată din cîte trei izolatoare. În rest părțile componente nu se deosebesc de ale separatoarelor de 35 kV.

Pentru protejarea separatorului împotriva deteriorărilor provocate de arcul electric, contactele sînt prevăzute cu coarne de protecție. Comanda separatoarelor din instalațiile exterioare se execută fie cu dispozitive de acționare manuală cu pîrghie, fie de la distanță, cu aer comprimat sau cu motoare electrice (servomotoare).

În figura 17—25 se vede dispozitivul de acționare a unui separator de exterior tip AME-3. Acest dispozitiv se fixează pe suportul separatorului; este prevăzut cu două manete, una pentru închiderea contactelor de lucru normale, iar cealaltă pentru închiderea cuțitelor de legare la pămînt. Pozițiile extreme ale manetelor corespunzătoare pozițiilor „închis" sau „deschis" ale separatorului se pot asigura prin zăvorîre cu lacăte.

Mișcarea de rotație se transmite de la dispozitivul de acționare la separator, prin intermediul unor tije montate în prelungirea axelor. În figura 17—26

este reprezentată montarea în instalație a unui separator monopolar cu cuțite de legare la pămînt, acționat cu ajutorul unui dispozitiv tip AME-3.

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt separatoarele electrice și cum se clasifică ele?
2. Să se descrie construcția unui separator de exterior de 35 kV.
3. Cum se realizează comanda separatoarelor?

Capitolul XVIII

ÎNTRERUPĂTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE, BOBINE DE REACTANȚĂ, TRANSFORMATOARE, TIPURI DE STAȚII

Întrerupătoarele de înaltă tensiune sînt aparate destinate să întrerupă circuitele electrice în sarcină sau în gol, în mod voit sau cînd apar curenți periculoși pentru instalație.

În instalațiile de înaltă tensiune, pentru întreruperea curenților de sarcină, suprasarcină și a celor de scurtcircuit se întrebuințează întrerupătoarele automate cu mare putere de rupere. Pentru stingerea arcului în întrerupătoare se utilizează diferite medii de stingere (uleiul de transformator, expansina, aerul comprimat și alte gaze), precum și diverse dispozitive de stingere.

Alegerea tipului de întrerupător care urmează să fie montat într-o instalație se face după: tensiunea nominală, curentul nominal, puterea de rupere și locul de instalare (exterior sau interior). El trebuie să reziste termic și mecanic la acțiunea curentului maxim de scurtcircuit ce poate apare n instalație.

ÎNTRERUPĂTOARELE CU ULEI MULT

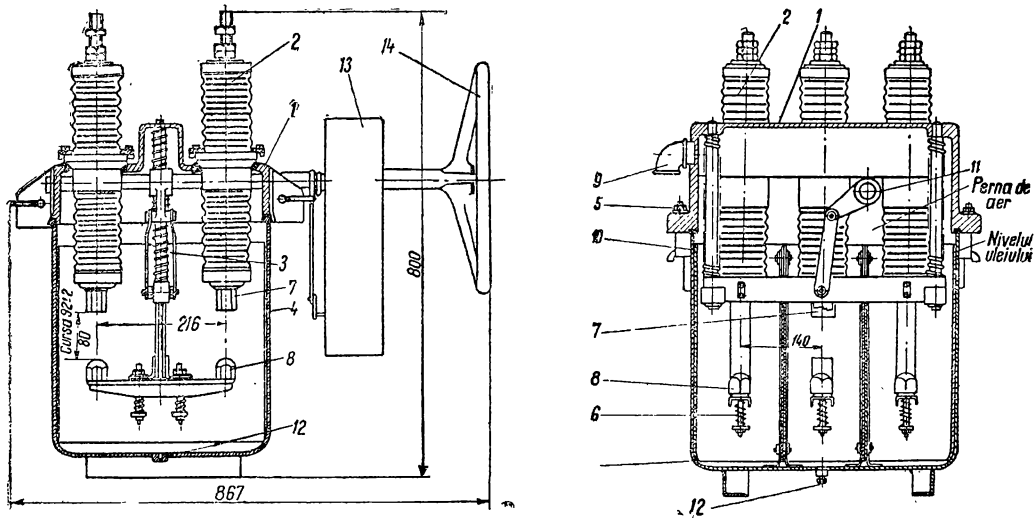
Se numesc astfel deoarece contactele și izolatoarele de trecere sînt cufundate în cuva cu ulei (care poate avea o capacitate de zeci și sute de litri).

Întrerupătoarele cu ulei mult se împart în : *întrerupătoare cu rupere liberă a arcului* în ulei și *întrerupătoare cu dispozitive speciale de stingere a arcului* electric.

În figura 18—1 se vede o secțiune printr-un întrerupător cu ulei mult.

Întrerupătorul este constituit dintr-o cuvă de oțel *4*, în care se găsește mediul de stingere și de izolație (uleiul de transformator). Închiderea și deschiderea întrerupătorului se face cu ajutorul roții de manevră *14*. Cuva este acoperită cu un capac de fontă *1*, prin care sînt practicate găuri de trecerea izolatoarelor *2*, străbătute de tije de cupru. În același capac, pentru evacuarea gazelor, se fixează un cot *9* prevăzut cu o clapetă. Capacul cuvei se prinde de cuva întrerupătorului cu ajutorul șuruburilor *5*. Pentru controlul nivelului uleiului din cuvă, aceasta este prevăzută cu un tub de nivel ; la partea inferioară a cuvei se găsește un robinet *12* pentru evacuarea uleiului. Prin peretele lateral al cuvei trece axul *11*, care, prin intermediul unor pîrghii articulate, acționează asupra punții cu contactele *8*, pe care le ridică, închi-

Fig. 18—1. Întrerupător cu ulei mult IUM-6.



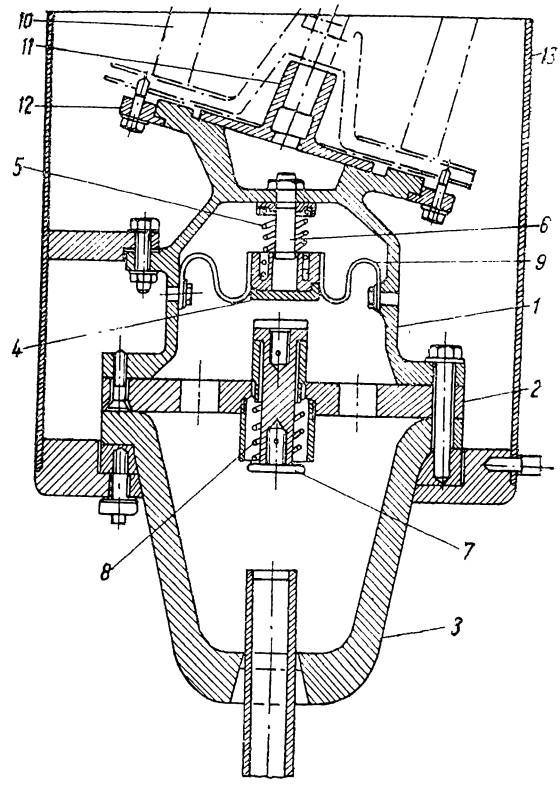


Fig. 18—2. Cameră de stingere a arcului cu suflaj de ulei.

zînd întrerupătorul, sau le coboară, deschizînd întrerupătorul. Resoartele *6* au rolul de a menține presiunea pe contacte și de a amortiza șocurile.

Pe tija de care este legată puntea cu contacte se află un resort *3*, care la poziția „închis" a întrerupătorului este comprimat. În interior, pereții laterali ai cuvei sînt căptușiți cu carton electrotehnic sau placaj *10*.

Poziția „închis" a întrerupătorului este menținută cu ajutorul unui clichet care se găsește pe tabloul de declanșare *13*. La declanșare clichetul din dispozitivul de acționare se desface. Sub acțiunea resortului comprimat de pe tijă, care se destinde, precum și sub propria greutate a punții cu contacte, contactele se desfac. Apare un arc electric între contactele fixe *7* și cele mobile *8*. Deoarece la fiecare fază există două perechi de contacte, arcul apare concomitent în două secțiuni.

Uleiul din apropierea arcului electric, sub acțiunea căldurii se vaporizează și se descompune, astfel încît arcul este înconjurat de gaze. Dintre componenții uleiului descompus, hidrogenul ajută la stingerea arcului electric.

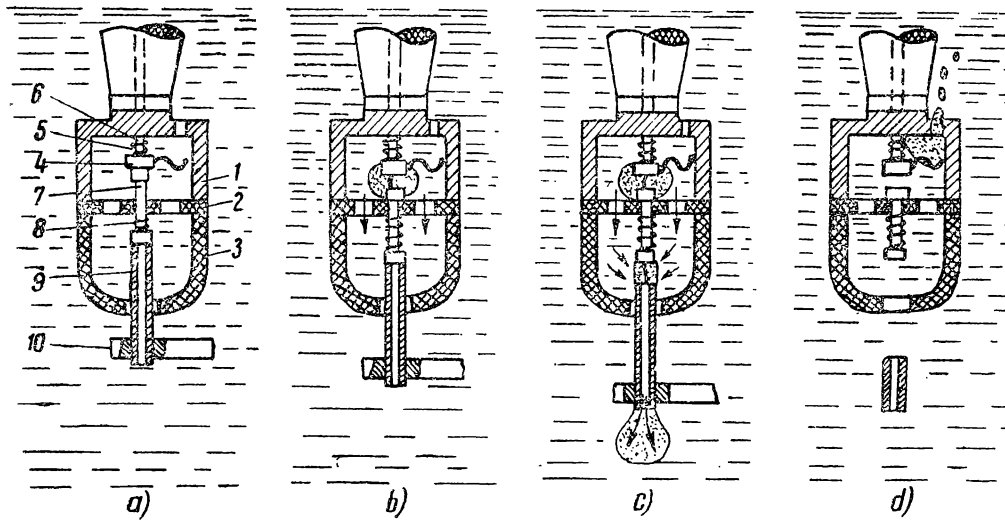


Fig. 18—3. Fazele de stingere a arcului electric:
a — anclanșat; *b* și *c* — procesul declanșării; *d* — declanșat.

Producerea gazelor este rapidă și conduce la creșterea presiunii în cuvă. Aerul este astfel silit să iasă în afară prin cotul de evacuare *9* și presiunea din cuvă scade. Pe măsura deplasării contactelor, arcul se lungește și răcindu-se se dezionizează, înlesnindu-se astfel stingerea lui. Aceasta mai este favorizată și de deplasarea intensă a uleiului rece, care ocupă locul uleiului cald, precum și de trecerea tensiunii prin zero. Durata de stingere a arcului electric la astfel de întrerupătoare este de aproximativ 0,10—0,15 s.

Întrerupătoarele cu rupere liberă a arcului se construiesc în țara noastră pentru tensiuni maxime de 15 kV și puteri de rupere pînă la 200 MVA.

Întrerupătoare cu ulei mult prevăzute cu camere de stingere. Pentru tensiuni mai mari și puteri de rupere ridicate se utilizează întrerupătoare cu dispozitive pentru stingerea arcului, care reduc durata arderii lui. Aceste dispozitive creează o răcire mai intensă a arcului, prin jeturi de ulei și suflaj de gaze, astfel încît arcul se stinge mai repede decît în spațiul liber.

Un astfel de dispozitiv întrebuințat la întrerupătoarele pentru tensiuni de 220 kV este reprezentat în figura 18—2.

Dispozitivul de stingere este împărțit într-o cameră superioară metalică *1*, despărțită de camera inferioară *3* prin intermediul unui perete din material izolant fibros *2* (textolit). Camera este fixată pe flanșa inferioară a izolatorului de trecere *10*, cu ajutorul inelului de strîngere *12*. Bucșa *11* face legătura camerii superioare cu tija izolatorului de trecere.

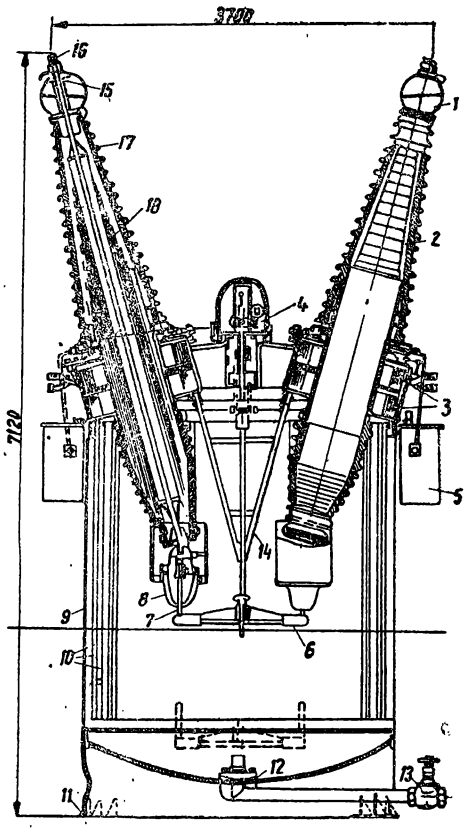


Fig. 18—4. Secțiune prin întrerupătorul cu ulei mult tip MKP:

1 — conservatorul izolatorului; *2* — izolatorul umplut cu ulei; *3* — transformator de curent; *4* — dispozitiv de acționare; *5* — dispozitiv pentru măsurarea tensiunii; *6* — puntea contactelor; *7* — contact mobil; *8* — camere de stingere a arcului cu suflaj longitudinal de ulei; *9* — rezervor; *10* — izolația rezervorului; *11* — tălpi pentru fixarea fundației; *12* — tampon de ulei; *13* — supapă de evacuare a uleiului; *14* — dispozitiv de ghidaj; *15* — țeavă pentru evacuarea aerului; *16* — clemă pentru fixarea barelor; *17* — corpul de porțelan al izolatorului; *18* — armăturile de condensator.

În camera superioară este instalat un contact frontal *4*, introdus pe tija de ghidaj *6*. Acest contact este astfel construit încît se poate deplasa limitat în sus sau în jos. Contactul este prevăzut cu resortul *5* și legat de camera superioară cu legăturile flexibile *9*.

Camera superioară (și capătul izolatorului de trecere) este ecranată cu ajutorul unui cilindru izolant *13*, care protejează izolatorul împotriva gazelor fierbinți proiectate din camera de stingere a arcului electric în timpul declanșării întrerupătorului. În peretele despărțitor se găsește un contact intermediar *7*, prevăzut cu resortul *8*, avînd o deplasare limitată.

În figura 18—3 se poate urmări stingerea arcului electric cu ajutorul camerei de stingere descrise.

La anclanșarea întrerupătorului, contactul mobil *9*, gol în interior și fixat pe traversa *10* se deplasează în sus, apasă pe contactul intermediar *7* și împreună cu acesta continuă să se deplaseze pînă cînd contactul intermediar

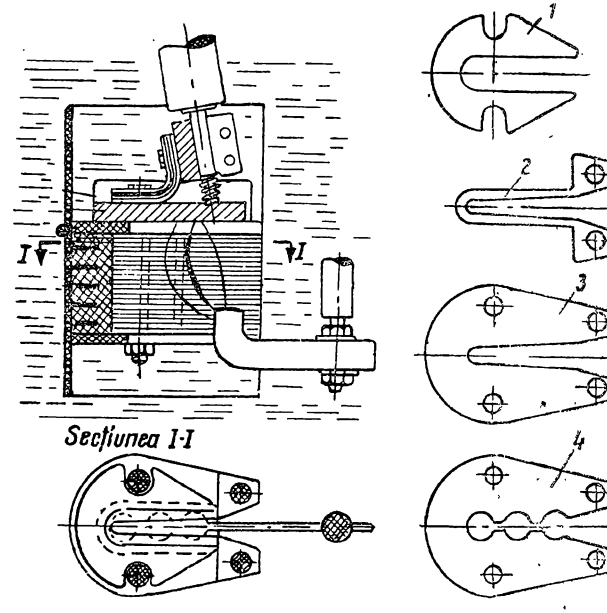


Fig. 18—5. Cameră de stingere cu grătare de dezionizare :
1, 2, 3 și *4* — plăci din care se alcătuiește camera.

atinge contactul *4* introdus pe tija de ghidaj *6*. Apoi cele trei contacte mai efectuează o mică cursă. Resorturile *5* și *8* se comprimă.

La deschiderea întrerupătorului, contactele se desfac în succesiunea inversă. Deplasarea în jos a contactului *9* este urmată de contactele *4* și *7*, a căror mișcare este imprimată de resoartele *5* și *8*, care se destind. După parcurgerea cursei, contactul *4* se oprește continuîndu-și mișcarea numai contactul *7*. La despărțirea contactului *4* de contactul *7* rezultă un arc electric.

Arcul vaporizează și descompune uleiul creînd în camera superioară *1* o presiune ridicată. Uleiul din camera superioară este expulzat cu putere în camera inferioară *3* prin orificiile practicate în peretele de separare *2*. Mișcarea jetului de ulei se face în direcția de deplasare a contactului mobil, de aceea astfel de camere se numesc cu „jet longitudinal".

După ce contactul intermediar *7* s-a oprit, contactul *9* în mișcare se desprinde de contactul *7*. Rezultă al doilea arc, care se stinge pe de o parte sub influența uleiului proaspăt provenit din camera superioară care suflă arcul, iar pe de altă parte din cauza presiunii mari (circa 40 at), care pune în mișcare gazele ce rezultă, producîndu-se o puternică dezionizare. Presiunea scade apoi treptat, gazele rezultate și uleiul evacuînd camera inferioară prin interiorul contactului *9*. În figura 18—4 este reprezentată o secțiune printr-o

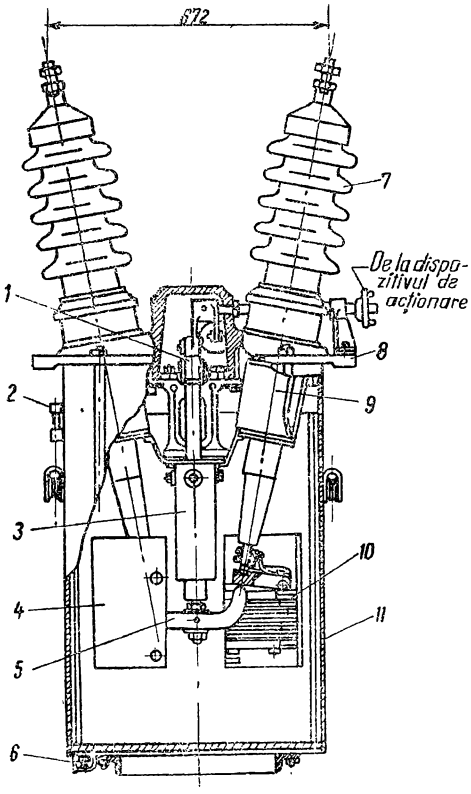


Fig. 18—6. Secțiune printr-o fază a întrerupătorului IU-35 :

1 — mecanism de acționare; *2* — indicator de nivel; *3* — cilindru de ghidaj; *4* — ecran; *5* — contact mobil; *6* — robinet de golire; *7* — izolator; *8* — capac; *9* — transformator de curent; *10* — cameră de stingere; *11* — cuvă.

fază a unui întrerupător de tip MKP (de 274—600 A și 220 kV), echipat cu astfel de camere de stingere. Stingerea arcului la astfel de întrerupătoare nu este rapidă (de ordinul 0,15 s sau mai mult).

Unele întrerupătoare au camere de stingere la care jetul de ulei se deplasează perpendicular pe direcția de mișcare a contactelor. Astfel de întrerupătoare se numesc „cu jet transversal" și se construiesc pentru tensiunea de 110 kV. Timpul de declanșare la acesta este de 0,1 s sau mai puțin.

O răspîndire mare o au întrerupătoarele cu ulei mult, cu suflaj longitudinal cu grătare de dezionizare. Camerele se fixează la capetele tijelor conducătoare de curent ale izolatoarelor, împreună cu contactele fixe (fig. 18—5).

Camera îngustă se compune dintr-o serie de lame din material izolant, între care sînt așezate lame de oțel în formă de potcoavă. Între capetele lamelor se află o deschidere în care se deplasează contactul mobil (cuțitul).

La deschiderea întrerupătorului, între contactele fixe și contactul mobil apare arcul, care arde în deschiderea camerei.

Curentul din arc produce un cîmp magnetic puternic, care se intensifică mult din cauza lamelor de oțel cu o permeabilitate ridicată. Din interacțiunea cîmpului magnetic și a curentului din arc, arcul este atras în șicanele camerei, fragmentat și stins sub acțiunea presiunii care creează un suflaj și sub acțiunea uleiului proaspăt pe care-l întîlnește.

La noi în țară se fabrică întrerupătoare de 35 kV cu astfel de camere de stingere (IU-35).

Toate întrerupătoarele de 35 kV și mai mult sînt prevăzute cu transformatoare de curent, montate pe izolatoarele întrerupătorului, imediat sub capacul cuvei. Ele sînt confecționate din miezuri circulare pe care se aplică înfășurarea secundară. Primarul transformatorului este constituit de însăși tija conducătoare de curent care trece prin izolator.

În figura 18—6 se vede o secțiune printr-un întrerupător românesc IU-35 cu puterea de rupere de 400 MVA.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică întrerupătoarele de înaltă tensiune?
2. Să se descrie un întrerupător cu ulei mult.
3. Care sînt dezavantajele întrerupătoarelor cu ulei mult?
4. Cum se mărește puterea de rupere a întrerupătoarelor?
5. Să se descrie funcționarea camerelor de stingere a întrerupătoarelor.

ÎNTRERUPĂTOARE CU ULEI PUȚIN ȘI ÎNTRERUPĂTOARE CU EXPANSIUNE

1. Întrerupătoare cu ulei puțin

La întrerupătoarele cu ulei puțin, uleiul are numai rolul de stingere a arcului electric. Izolarea părților sub tensiune de cele fără tensiune se realizează cu ajutorul izolatoarelor ceramice și al aerului. Pericolul de explozie și de incendii este practic eliminat, volumul de ulei fiind mic. Ele se montează atît în stațiile de exterior, cît și în cele de interior.

În figura 18—7 este reprezentat un întrerupător cu ulei puțin de 10 kV tip IUP-10, fabricat în țară.

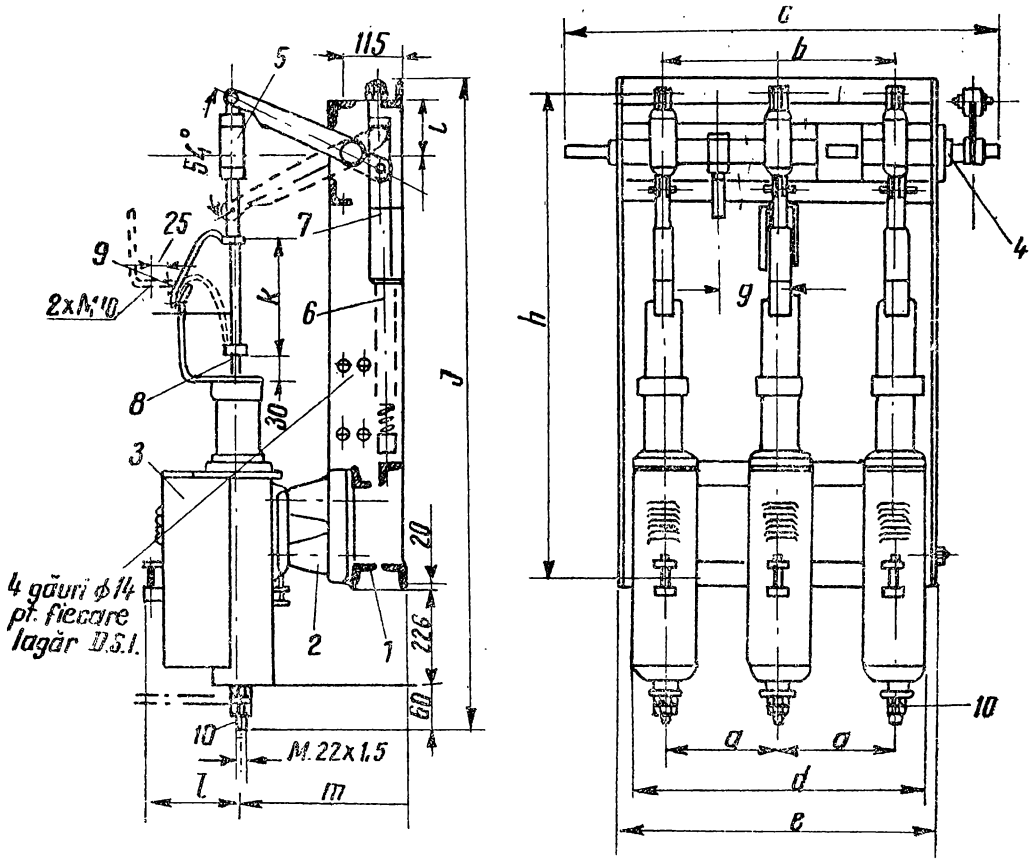


Fig. 18—7. Întrerupător cu ulei puțin tip IUP-10.

Fiecare fază are cuva ei. Cuvele *3* ale întrerupătorului se găsesc în mod normal sub tensiune și de aceea ele sînt fixate de cadrul de susținere prin intermediul unor izolatoare-suport *2*. Tija de contact *8* se leagă prin intermediul unui izolator tip armonică *5* de pîrghia fixată pe axul *4*. La capătul opus al acestei pîrghii se găsește resortul de deschidere *6* și amortizorul *7*. Sub acțiunea resortului *6* întrerupătorul se deschide. Amortizorul *7* micșorează șocurile la închiderea sau deschiderea întrerupătorului. Fazele cu întregul sistem de acționare sînt fixate pe un cadru de oțel *1*. Legăturile întrerupătorului la rețea se realizează prin contactele *9* și *10*.

În figura 18—8 este reprezentată o secțiune prin cuva unei faze a unui întrerupător cu ulei puțin în poziția declanșat.

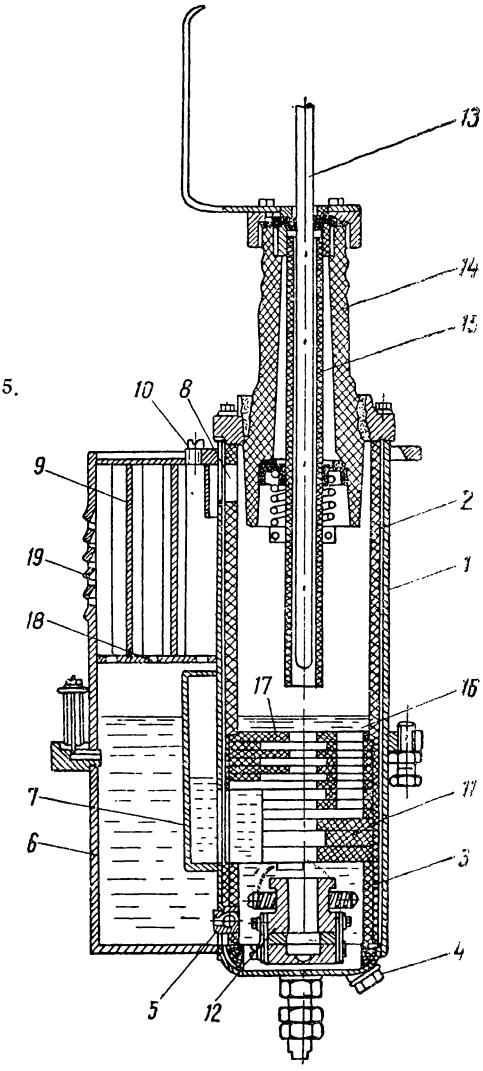


Fig. 18—8. Secțiune prin întrerupătorul IUP—15.

Pe cilindrul principal *1* se găsește sudată o cameră *6*, în comunicație cu cilindrul principal prin intermediul supapei cu bilă *5*. Aceasta permite trecerea uleiului 16 numai de la stînga spre dreapta, astfel încît nivelul în cele două rezervoare este același. Pe capacul cilindrului *1* se găsește montat izolatorul *14*, cu o țeavă de bachelită *15*, ce servește drept ghidaj pentru tija contactului mobil *13*. La partea inferioară a cilindrului se

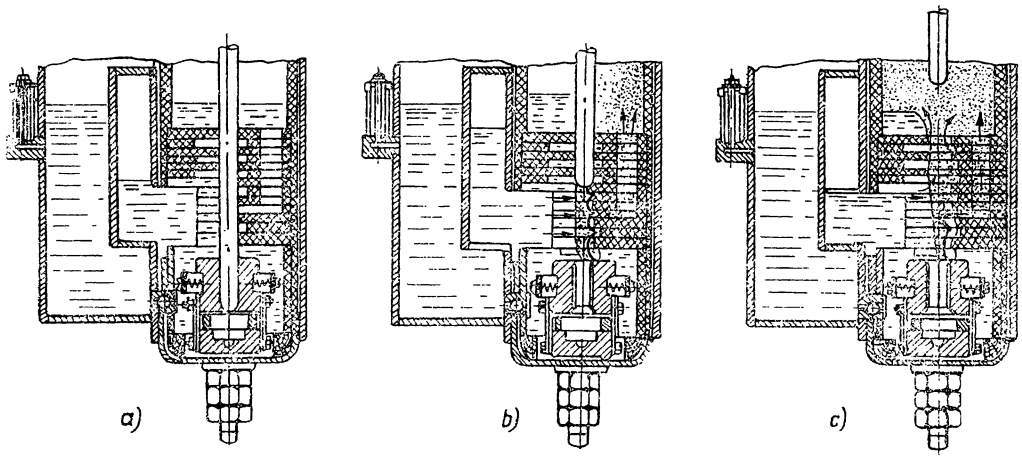


Fig. 18—9. Stingerea arcului la întrerupătorul IUP:
a — anclanșat; *b* — întreruperea curentului mare; *c* — întreruperea curentului mic.

găsește bușonul pentru golirea uleiului *4*, iar la partea superioară, cel de umplere *10*. Cilindrul *1* este izolat prin interior cu cilindrii de bachelită *2* și *3*, pe care se fixează camera de stingere *11*. Camera de stingere este confecționată din plăci alternate *17* de pertinax și fibră. Prin orificiul central al acestei camere trece contactul mobil *13*, care închide niște orificii situate în planuri orizontale diferite și care comunică prin canale verticale cu partea superioară a cilindrului. Contactul mobil are cursa pînă la contactul fix *12*.

De cilindrul *1* este sudată încă o cameră mică de oțel *7*, care comunică cu cilindrul *1* printr-o deschidere dreptunghiulară, în fața deschiderilor orizontale ale camerei de stingere. La umplerea întrerupătorului cu ulei, în camera *7* rămîne un spațiu de aer.

Stingerea arcului la declanșarea întrerupătorului este arătată în figura 18—9, unde *a*, *b* și *c* reprezintă diferitele faze ale declanșării.

La deplasarea în sus a contactului mobil *13* (v. fig. 18—8), ia naștere un arc electric, care provoacă creșterea presiunii în partea inferioară a cilindrului. O parte din ulei este expulzată în camera *7*, a cărei pernă de aer se micșorează ca volum. Prin deplasarea în continuare a contactului *13* se deschid succesiv deschiderile camerei. Partea inferioară a cilindrului intră în comunicație cu partea superioară a lui. Apare un suflaj de gaze și vapori de ulei în trei planuri diferite, care dezionizează puternic arcul electric. Acest suflaj este întreținut de aerul comprimat din camera *7*. Stingerea arcului este înlesnită de gazele care se degajă din plăcile de fibră

ale camerei de stingere, datorită temperaturii ridicate, precum și de faptul că contactul mobil este etanș pe pereții camerei de stingere.

În partea superioară a cilindrului *1* se adună un amestec de gaze și ulei. Prin orificiile *8*, acestea trec în separatorul de ulei cu labirint *9*. Aici uleiul se depune pe șicanele separatorului și prin orificiile *18* se scurge în partea inferioară a camerei *6*. Gazele necondensate ies în exterior prin deschiderile *19*.

Nivelul uleiului din întrerupător trebuie să fie corespunzător. În poziția „deschis" a întrerupătorului, contactul mobil trebuie să aibă capătul deasupra nivelului de ulei, astfel încît stingerea arcului să se producă în aer și nu în ulei. Stingerea arcului în ulei ar strica rigiditatea dielectrică a uleiului.

2. Întrerupătoare cu expansină

Întrerupătoarele cu expansină folosesc ca mediu pentru stingerea arcului electric expansina, un amestec de apă, glicerină și alcool.

Camera de stingere a întrerupătorului cu expansină (fig. 18—10) este asemănătoare cu camerele de stingere ale întrerupătoarelor cu ulei puțin. Ea este despărțită în două printr-o piesă în formă de clopot. Partea in-

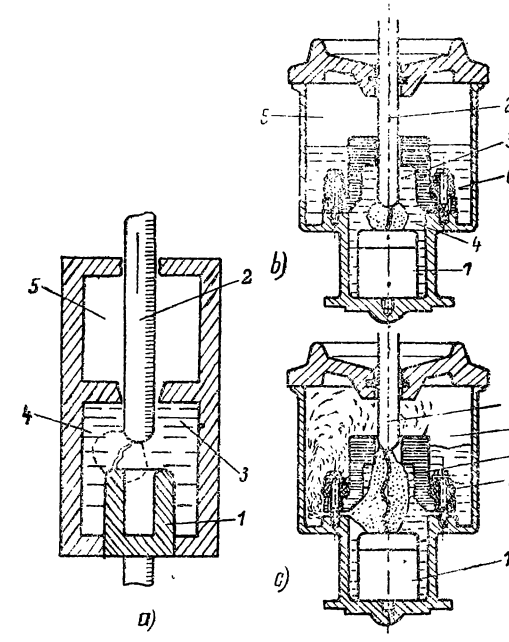


Fig. 18—10. Camera de stingere a întrerupătorului cu expansină :
a — principiul de funcționare; *b* — întreruperea curenților mici; *c* — întreruperea curenților mari.

ferioară a camerei *4* constituie camera de presiune *3*, plină cu expansină. Tot aici se găsește contactul fix *1* al întrerupătorului. Piesa în formă de clopot are un orificiu prin care trece contactul mobil *2*. Piesa în formă de clopot este fixată prin șuruburi și inelul elastic *6*.

Sub influența arcului electric expansina se vaporizează, provocînd creșterea presiunii în camera de presiune închisă de contactul mobil *2*. După ce contactul mobil eliberează orificiul piesei clopot, arcul electric este supus unui suflaj de expansină. Vaporii și gazele de expansină trec în camera superioară 5, unde prin destindere se răcesc intens, înlesnind dezionizarea arcului și grăbindu-i stingerea.

Cantitatea de gaze și vapori rezultate este direct proporțională cu valoarea curentului întrerupt.

În cazul întreruperii curenților mici, stingerea arcului este asigurată de camera de presiune. În cazul întreruperii unor curenți mari, presiunea crește atît de mult, încît inelul elastic *6* cedează și astfel o cantitate de gaze și vapori expandează din camera de presiune și trece pe sub marginea piesei clopot în camera superioară.

Deoarece expansina conține apă (susceptibilă la îngheț), astfel de întrerupătoare se folosesc numai în instalațiile interioare. Ele nu prezintă pericol de explozie și incendiu ca întrerupătoarele cu ulei.

Se construiesc pentru tensiuni pînă la 35 kV și puteri de rupere pînă la 400 MVA.

Întrebări recapitulative

1. Să se descrie construcția unui întrerupător cu ulei puțin.
2. Care sînt avantajele întrerupătorului cu ulei puțin?
3. Cum este construit și cum funcționează un întrerupător cu expansină?

ÎNTRERUPĂTOARE CU AER COMPRIMAT. ÎNTRERUPĂTOARE CU GAZE. SEPARATOARE DE SARCINĂ

1. Întrerupătoare cu aer comprimat

La întrerupătoarele cu aer comprimat arcul electric se stinge prin suflaj de aer. Avantajele acestora sînt rapiditatea stingerii arcului și lipsa pericolului de incendiu. În schimb, folosirea lor are dezavantajul că necesită o instalație specială de aer comprimat la o presiune de 5—25 atm.

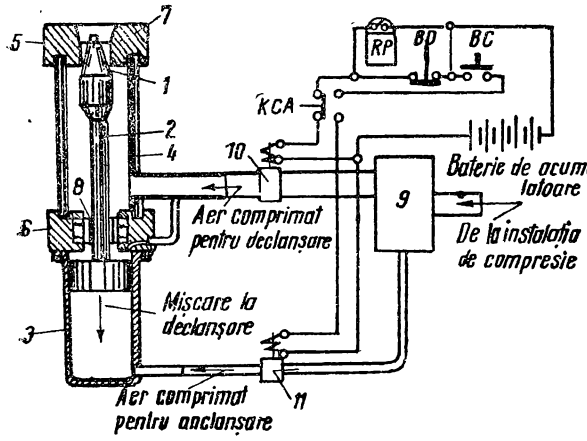


Fig. 18—11. Schema de principiu a unui întrerupător cu aer comprimat.

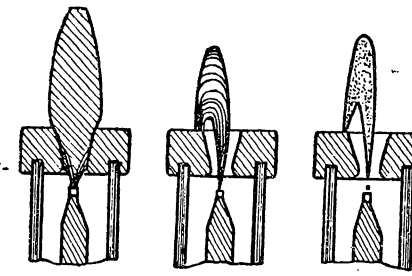


Fig. 18—12. Stingerea arcului la un întrerupător cu aer comprimat:
a, *b*, *c* — diferite faze succesive în stingerea arcului.

Schema de principiu a unui întrerupător cu aer comprimat este reprezentată în figura 18—11. În partea superioară se găsește o cameră de stingere *4*, iar partea inferioară *3* servește drept mijloc de acționare cu aer pentru închiderea și deschiderea întrerupătorului. Legăturile întrerupătorului în circuitul electric se fac cu ajutorul bornelor *5* și *6*. Prin tija *2* se închide circuitul electric de la borna *5* la *6*. Contactul *7* este fix, iar contactul *8* este glisant.

Comanda închiderii și deschiderii întrerupătorului se realizează cu ajutorul electrovalvelor pneumatice *10* și *11*.

Pentru declanșare, aerul din rezervorul *9* trece prin electrovalva *10* în camera de stingere *4* și în partea superioară a cilindrului dispozitivului de acționare. Contactul mobil *1* se deplasează în jos, întrerupînd circuitul. Aerul pătruns în camera de stingere, trecînd cu putere prin contactul fix *7*, stinge arcul electric care se formează la deschiderea întrerupătorului. Astfel, arcul se stinge în 0,01—0,02 s, sub acțiunea de dezionizare puternică a aerului. În figura 18—12 se vede procesul de stingere a arcului electric la un astfel de întrerupător.

Electrovalvele *10* și *11* (fig. 18—11) sînt comandate de butoanele *BD* (declanșare) și *BC* (anclanșare). Pentru declanșare se apasă pe butonul *BD*. Circuitul se închide de la baterie prin butonul *BD*, contactul *KCA* de blocare legat de sistemul mobil al întrerupătorului, bobina supapei și înapoi la baterie. Circuitul de anclanșare este similar, și anume : baterie, *BC*, *KCA*, bobina electrovalvei *11*, baterie.

Releul de protecție *RP* declanșează automat întrerupătorul.

Întrerupătoarele pentru 110 kV funcționează după același principiu; locurile de rupere ale arcului electric sînt însă mai numeroase. Întrerupătoarele cu aer se construiesc pentru puteri de rupere de mii de megavolt-amperi.

2. Întrerupătoare cu gaze

Întrerupătoarele cu gaze folosesc, pentru stingerea arcului electric, gaze care se dezvoltă chiar în camera de stingere sub acțiunea arcului. În acest scop, camera de stingere este construită din substanțe solide (ca fibre, sticlă organică, viniplast etc.), care la temperaturi ridicate emană gaze. La stingerea arcului contribuie hidrogenul din componența gazului, precum și curentul de gaze, a cărei direcție se alege astfel încît să sufle cît mai bine arcul și să-l stingă.

3. Separatoare de sarcină

În instalațiile electrice de putere mică nu este justificată folosirea întrerupătoarelor din cauza prețului lor ridicat. În aceste cazuri se folosesc așa-numitele *separatoare de sarcină*, prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric, care pot separa vizibil porțiuni ale instalației electrice chiar în sarcină.

În figura 18—13 este reprezentat un separator de sarcină pentru 10 kV, cu cadru de siguranță. El este un separator trifazat, prevăzut cu contacte de rupere și camere de stingere a arcului.

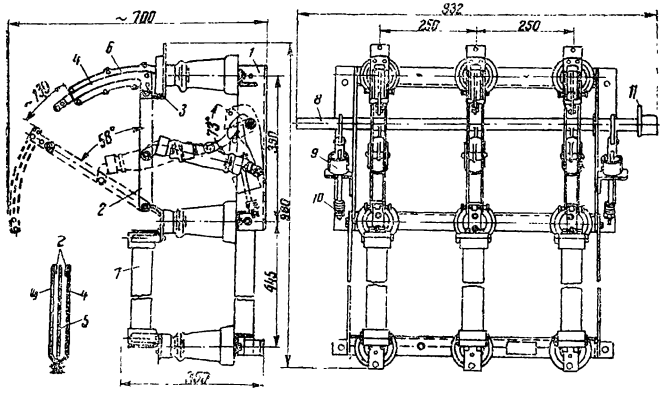


Fig. 18—13. Separator de sarcină pentru 10 kV:
1 — cadru; *2* și *3* — contacte de lucru; *4* — plăci de oțel; *5* — cuțit de stingere a arcului; *6* — cameră de stingere a arcului; *7* — siguranță cu nisip de cuarț; *8* — ax; *9* — resort de declanșare; *10* — amortizor; *11* — pîrghie de acționare.

Cu un astfel de separator de sarcină se pot întrerupe curenți de maximum 600 A la 6 kV sau 400 A la 10 kV.

Uzinele Electroputere—Craiova fabrică tipuri similare de separatoare de sarcină pentru tensiuni de 10 și 15 kV și curenți de întrerupere de maximum 1 500 A.

Întrebări recapitulative

1. Care este principiul de funcționare al întrerupătoarelor cu aer comprimat?
2. Cum funcționează întrerupătoarele cu gaze?
3. Ce sînt separatoarele de sarcină și unde se montează ele?

MONTAREA ÎNTRERUPĂTOARELOR

Întrerupătoarele se pot monta fie în interior, fie în exterior. În majoritatea cazurilor, întrerupătoarele cu tensiuni sub 35 kV se montează în interior, iar cele cu tensiuni superioare se montează în exterior.

Întrerupătoarele montate în interior se așază în celule separate. Întrerupătoarele cu ulei mult sînt așezate pe un cadru de oțel fixat cu buloane de pardoseala celulei sau de pereții celulei. Întrerupătoarele cu ulei puțin se fixează cu cadrul pe peretele din fundul celulei. Tot așa se montează și întrerupătoarele de sarcină.

Întrerupătoarele de exterior se montează în toate cazurile pe fundații special executate în acest scop.

Indiferent dacă este vorba de întrerupător de interior sau de exterior, poziția cuvelor sau a camerelor de stingere trebuie să fie verticală, cu excepția întrerupătoarelor pentru care fabrica constructoare indică o altfel de așezare.

La montare trebuie să se țină seama de distanțele minime dintre părțile sub tensiune și restul părților puse la pămînt. Sticlele de nivel și, în general toate părțile care trebuie observate de către personalul de exploatare a stației trebuie să fie ușor accesibile.

Din motive de tehnică a securității muncii, accesul lîngă întrerupător în timpul funcționării lui este interzis. Din acest considerent, în fața celulei se prevede o plasă de protecție. Întrerupătoarele din stațiile exterioare se îngrădesc, de asemenea, cu plase de protecție fixate pe stîlpi din țeavă de oțel și legate electric la pămînt.

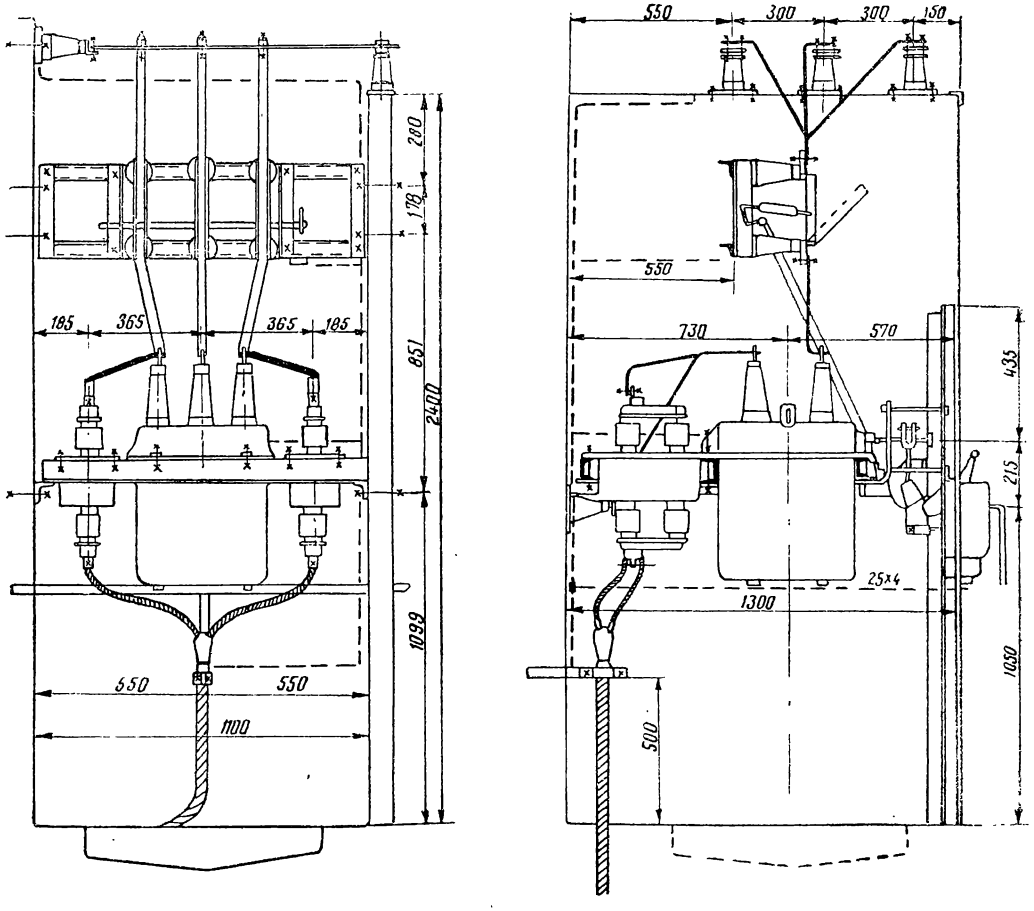


Fig. 18—14. Celulă pentru întrerupător cu ulei mult.

Figura 18—14 reprezintă o celulă cu întrerupător cu ulei mult, iar în figura 18—15 este reprezentat montajul în exterior al unui întrerupător cu ulei puțin.

Întrerupătoarele cu ulei puțin se montează ca în figura 18—16.

Întrebări recapitulative

1. Cum se montează întrerupătoarele?
2. Ce măsuri se iau pentru a evita accesul lîngă întrerupătoare?

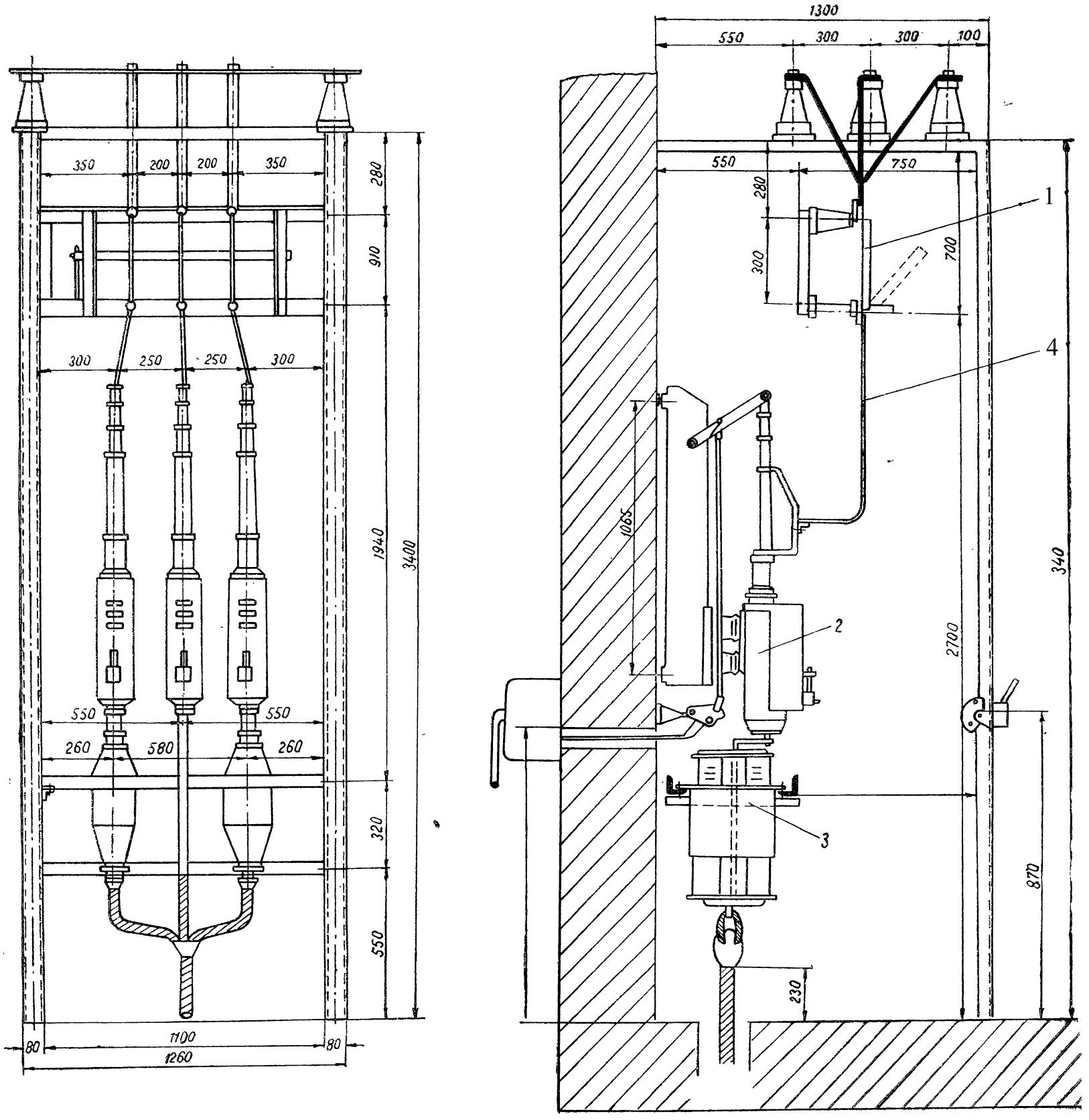


Fig. 18—16. Celulă echipată cu întrerupător cu ulei puțin:

1 — separator de bare; *2* — întrerupător cu ulei puțin; *3* — reductor de curent; *4* — bare.

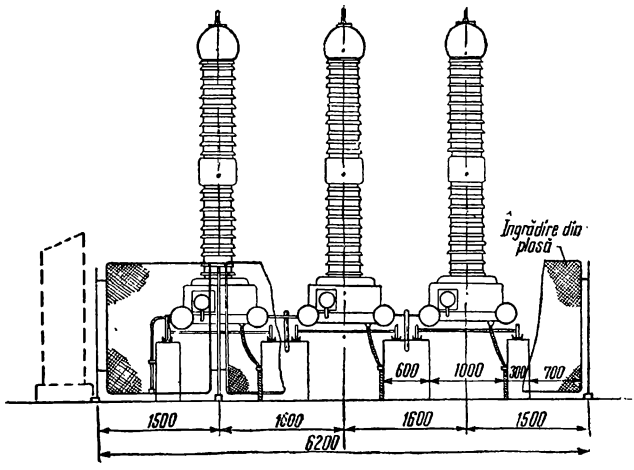


Fig. 18—15. Montarea unui întrerupător cu ulei puțin în exterior.

DISPOZITIVELE DE ACȚIONARE ALE ÎNTRERUPĂTOARELOR

Dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor servesc pentru anclanșarea, menținerea în poziție anclanșată și eliberarea părților mobile ale întrerupătoarelor la declanșare. În acest scop, orice dispozitiv cuprinde mecanismul de anclanșare, mecanismul de zăvorîre și mecanismul de eliberare a zăvorului.

Dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor cu ulei pot fi manuale, manuale cu declanșare automată și dispozitive pentru comanda de la distanță a întrerupătoarelor.

1. Dispozitive manuale

Dispozitivele manuale servesc la anclanșarea și declanșarea cu mîna a întrerupătoarelor cu ulei, prin învîrtirea unui volan sau a unei pîrghii.

Dispozitivele manuale cu declanșare automată se anclanșează cu mîna și se declanșează automat. Declanșarea automată este comandată de electromagneții de declanșare. Din această categorie fac parte dispozitivele manuale de închidere (tip DMI).

După întrerupătoarele cărora le sînt destinate, aceste dispozitive sînt clasificate astfel :

DMI—1 — pentru întrerupătoare IU—35 ;

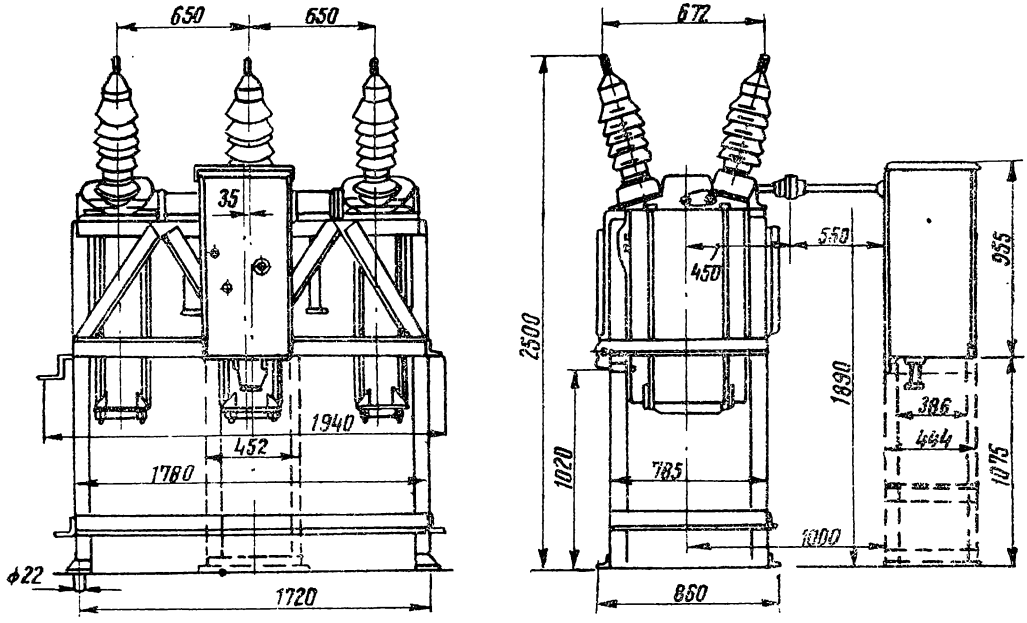


Fig. 18—17. Dispozitiv de acționare tip DMI-1 montat la un întrerupător IU-35.

DMI—4 — pentru întrerupătoare IUM—6 și IUM—15;
DMI—5 — pentru întrerupătoare IUP—10 și IUP—15.

În figura 18—17 este reprezentat modul de montare a unui dispozitiv de acționare DMI—1, la un întrerupător IU—35. Acest dispozitiv este destinat instalațiilor exterioare. În acest scop, el este montat în interiorul unui dulap metalic pentru protecția contra pătrunderii directe a prafului și a precipitațiilor atmosferice. Dispozitivele de tip DMI—4 și DMI—5 se montează în interiorul stațiilor, deci nu au nevoie de o protecție specială.

Toate dispozitivele DMI sînt prevăzute cu dispozitiv de deschidere liberă (fig 18—18), care poate fi acționat manual, prin releele incluse în dispozitiv sau prin electromagneți de deschidere comandați de la distanță.

Mecanismele de deschidere liberă asigură deschiderea întrerupătoarelor respective în orice poziție a contactelor întrerupătoarelor.

Dispozitivul de liberă deschidere este constituit dintr-o serie de pîrghii articulate, acționate de maneta de acționare, cu care se face armarea întrerupătorului.

Declanșarea întrerupătorului este posibilă cu ajutorul unui buton sau cu releul de curent maximal.

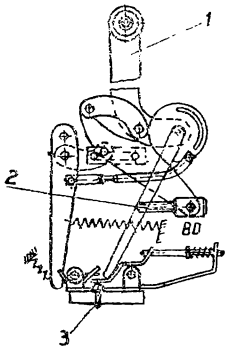
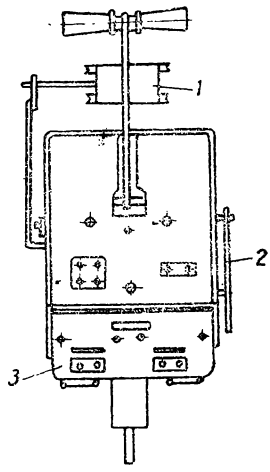


Fig. 18—18. Dispozitiv de liberă deschidere :
1 — maneta de acționare ; *2* — sistemul mobil ; *3* — armătura releului maximal.



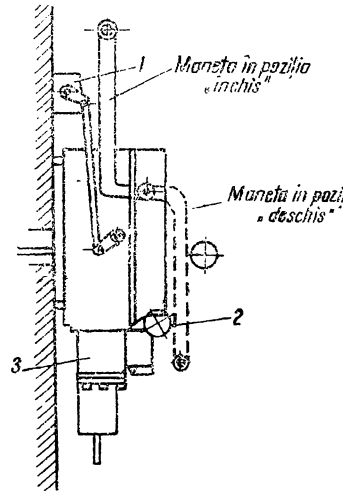


Fig. 18—19. Vedere de ansamblu a dispozitivului de acționare DMI :
1 — comutator de semnalizare ; *2* — indicator de poziție ; *3* — cutie de relee.

Dispozitivul de deschidere liberă este montat în interiorul unei carcase de fontă, fixată pe peretele celulei sau pe un stelaj metalic. În partea inferioară a carcasei de fontă este montată cutia releelor și a electromagneților, cu placa de borne unde se leagă sursa de alimentare.

Pentru indicarea pozițiilor „închis" sau „deschis" ale întrerupătorului, în partea dreaptă a carcasei se află un indicator mecanic, iar în partea stîngă este prevăzută o pîrghie pentru acționarea comutatorului de semnalizare (fig. 18—19).

Releele sau electromagneții de declanșare se pot regla pentru diferiți curenți de declanșare, pentru diferite tensiuni (releele de tensiune) și se pot temporiza.

2. Dispozitive de acționare solenoidale

Dispozitivele de acționare de la distanță de tip solenoidal permit atît anclanșarea, cît și declanșarea întrerupătoarelor în mod automat. Pentru aceasta se folosesc electromagneți alimentați în curent continuu sau alternativ.

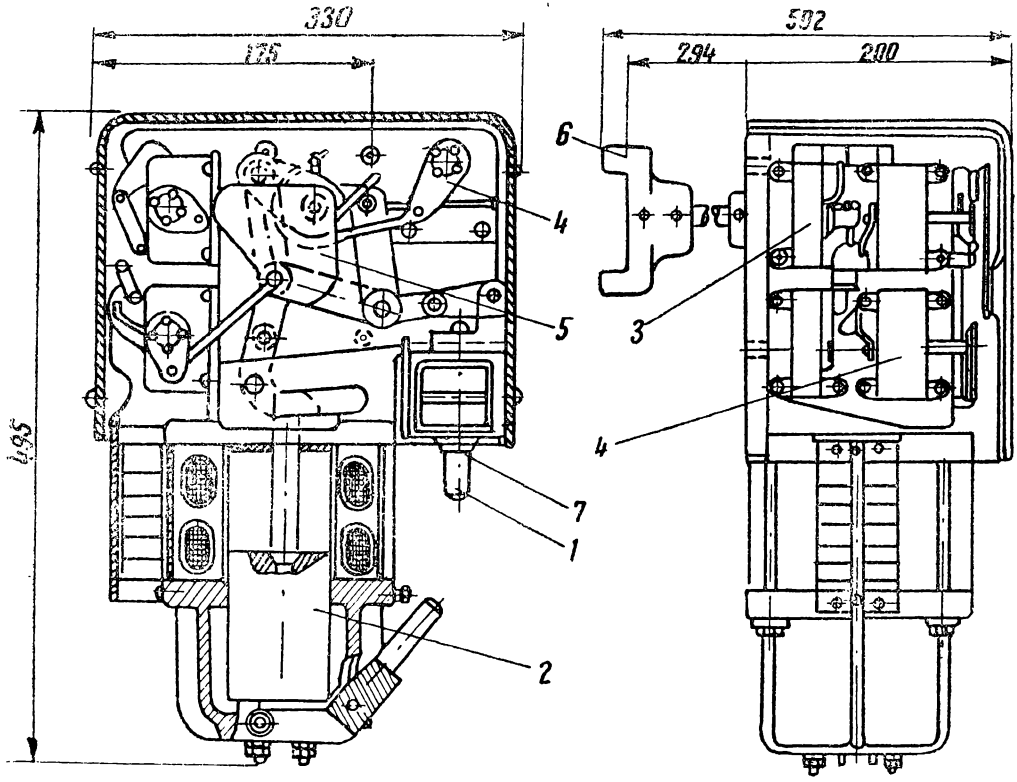


Fig. 18—20. Secțiune prin dispozitivul de acționare DSI-2:
1 — electromagnet de deschidere; *2* — electromagnet de închidere; *3* — contact de blocare; *4* — contact de semnalizare; *5* — indicator de poziție; *6* — cuplă; *7* — tijă de reglaj.

În țară se fabrică dispozitive solenoidale pentru întrerupătoare în două variante, DSI—1 și DSI—2.

Dispozitivul DSI—1 este destinat acționării întrerupătorului de tip IU—35, în care scop este montat într-un dulap de protecție contra precipitațiilor atmosferice.

Dispozitivul DSI—2, fără o protecție specială, se folosește pentru acționarea întrerupătoarelor de interior IUM—6—15 și IUP—10—15.

Montarea dispozitivelor DSI nu este diferită de a dispozitivelor DMI.

În figura 18—20 este reprezentată o secțiune printr-un dispozitiv DSI-2.

Ca și dispozitivele DMI, acestea sînt prevăzute cu mecanisme de deschidere liberă.

Mecanismul de deschidere liberă este acționat printr-un electromagnet de închidere și unul de deschidere, montați pe o carcasă comună, așa cum se vede în figură.

Fiind sigure în exploatare, dispozitivele solenoidale au o largă întrebuințare în stații.

3. Dispozitive de acționare pneumatice

Comanda întrerupătoarelor se poate face și cu dispozitive pneumatice pentru întrerupătoare (tip DPI). Aceste dispozitive lucrează cu aer comprimat la 5—7 atm. Principiul de funcționare al unui astfel de dispozitiv este reprezentat în figura 18—21.

Dispozitivul se compune dintr-un cilindru *1*, în care se găsește un piston *2*, a cărei tijă *3* este legată prin intermediul mecanismului de liberă deschidere, cu axul întrerupătorului.

La anclanșare se deschide supapa electromagnetică *5*, prin care aerul din rezervor ajunge la cilindrul *1*. Sub acțiunea aerului comprimat pistonul *2* este împins în sus, comprimînd resortul *4* și prin tija *3* se efectuează

Fig. 18—21. Schema de principiu a unui dispozitiv de acționare pneumatic.

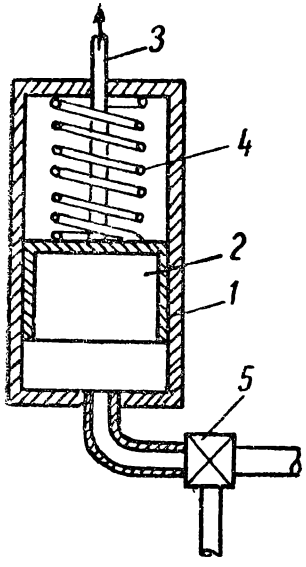
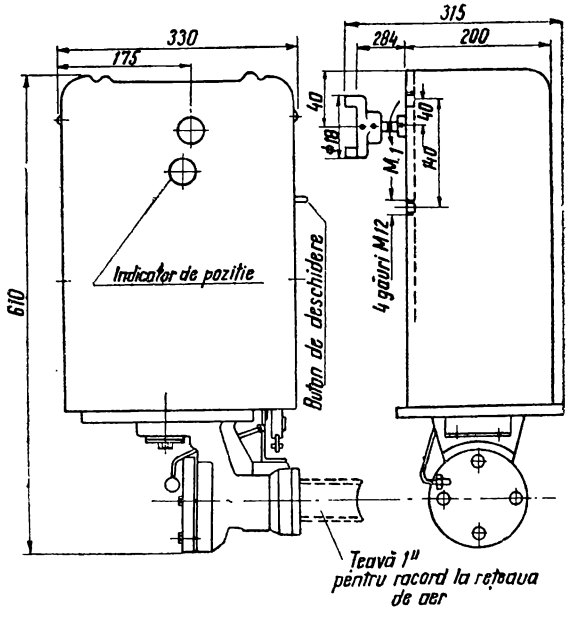


Fig. 18—22. Dispozitiv de acționare pneumatic tip DPI.



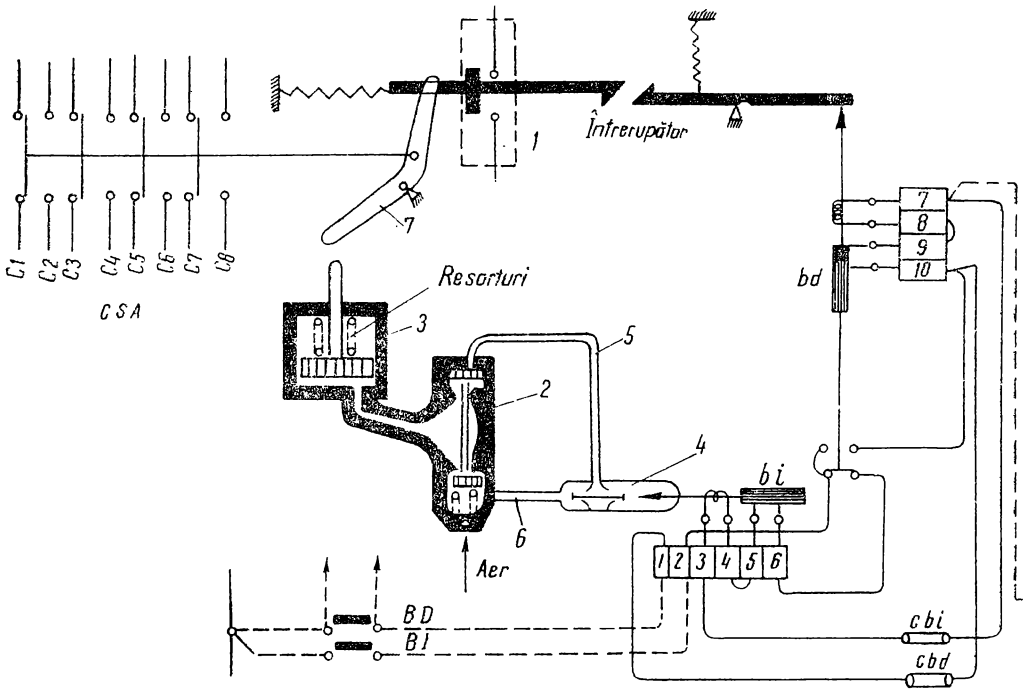


Fig. 18—23. Schema electrică și pneumatică a dispozitivului DPI.

anclanșarea întrerupătorului. Declanșarea se efectuează cu ajutorul unei bobine de declanșare obișnuită, care acționează asupra dispozitivului de deschidere liberă a dispozitivului de acționare.

În figura 18—22 este reprezentat aspectul exterior al unui dispozitiv tip DPI.

În figura 18—23 este dată schema de funcționare a dispozitivului DPI.

Prin apăsarea butonului de închidere *BI* se închide circuitul bobinei de închidere *bi* (acesta este format din două secțiuni legate în serie la 220 V sau în paralel la 110 V).

Plonjorul electromagnetului acționează supapa pneumatică *4*, pe care o deschide permițînd intrarea aerului prin conducta *6* în partea inferioară a cilindrului *2* și prin conducta *5* în partea superioară a cilindrului *2*. Cele două pistoane din cilindrul *2*, legate rigid, sînt împinse în jos, permițînd aerului să intre direct în cilindrul *3*. Pistonul cilindrului este împins în sus și lovește în pîrghia *7*, închizînd întrerupătorul *1*. După acționare, pistonul *3* revine sub acțiunea resortului și aerul trecînd prin

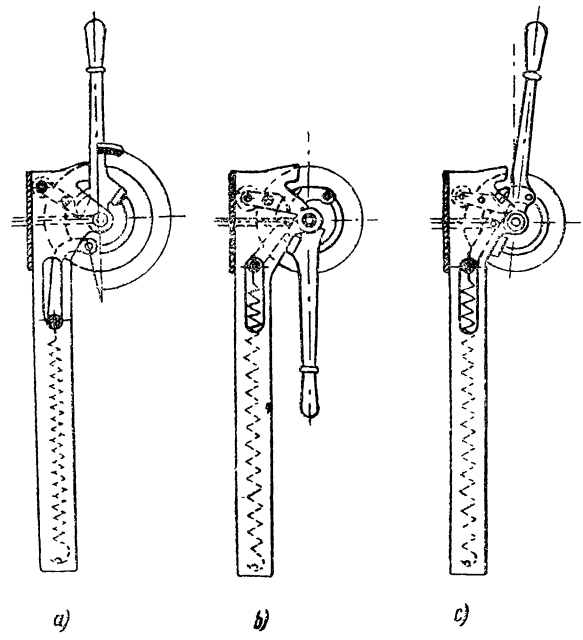


Fig. 18—24. Dispozitivul de acționare cu resort și armare manuală :
a — poziția „închis" (resortul dezarmat); b — poziția „deschis" (resortul armat); c — poziția de pregătire a anclanșării

partea inferioară a cilindrului *2* și conducta *6* readuce în poziția inițială supapa pneumatică *4*. Deschiderea întrerupătorului se face apăsînd pe butonul *BD*, prin care se pune în circuit bobina de declanșare *bd*. Armătura acestei bobine lovește pîrghia clichetului și sub acțiunea resortului întrerupătorul se deschide.

În serie cu electromagneții bobinelor de declanșare și anclanșare se găsesc două comutatoare de fine de cursă *cbi* și *cbd*. Acestea mențin circuitul închis atîta timp cît se face anclanșarea, respectiv declanșarea întrerupătorului.

De pîrghia *7* se leagă tija unui comutator de semnalizare tip CSA, prin contactele căruia se semnalizează poziția întrerupătorului.

4. Dispozitive de acționare cu resort (DRI)

Aceste dispozitive (fig. 18—24) se indică a se folosi în stațiile și posturile de transformare care nu dispun de o sursă de energie suficient de puternică. Energia necesară anclanșării întrerupătoarelor se înmagazinează

într-un resort, care se armează manual sau printr-un electromotor. Această energie devine disponibilă în momentul potrivit și este cedată de resort, rezultînd o forță (respectiv cuplu) de 20—40 de ori mai mare decît cea aplicată pentru armare.

În țară se construiesc dispozitive cu resort, de tip DRI, care se pot arma fie manual, cu ajutorul unei manivele, fie cu ajutorul unui servomotor. Ele permit reanclanșarea întrerupătorului în urma unei declanșări. Dispozitivele de tip DRI sînt întrebuințate la acționarea întrerupătoarelor de pînă la 35 kV inclusiv.

5. Dispozitive de acționare cu greutate

Aceste dispozitive au schema și principiul de funcționare similare cu ale dispozitivelor cu resort. Dispozitivele cu greutate folosesc energia potențială a unei greutăți, ridicată manual sau cu servomotor la o anumită înălțime. Pentru aceasta, mișcarea se transmite unei tobe cu cablu, a cărei rotație ridică, prin intermediul unei role și al unor scripeți, greutatea în poziția extremă.

La deschiderea unei piedici greutatea cade și, prin intermediul unor piese articulate, închide contactele întrerupătorului. La sfîrșitul cursei, printr-un contact care se închide, se pune în mișcare motorul electric, care ridică din nou greutatea, pregătind astfel dispozitivul pentru o nouă anclanșare. Aceste dispozitive permit automatizarea stațiilor, fără să fie nevoie de baterii de acumulatoare puternice sau de instalații de aer comprimat.

6. Comanda de la distanță a dispozitivelor de acționare a întrerupătoarelor

Aceasta se face cu ajutorul unui comutator de comandă manuală sau cu o cheie de comandă. Cheia de comandă închide circuitele bobinei de declanșare și ale contactorului intermediar, cu ajutorul căruia se închide circuitul electromagnetului de anclanșare. În circuitul cheii de comandă curentul nu depășește în mod normal valoarea de 5 A, în timp ce în circuitul electromagnetului de anclanșare curentul atinge valori de sute

de amperi. Din această cauză, în circuitul bobinei de anclanșare se montează un contactor, care se comandă prin cheia de comandă. Acesta are contacte puternice care suportă în bune condiții valorile mari ale curenților.

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor și cum se clasifică ele?
2. Cum lucrează un dispozitiv de acționare manuală solenoidală și pneumatică?
3. Cum semnalizează dispozitivele de acționare poziția întrerupătoarelor?
4. Cum se efectuează comanda de la distanță a dispozitivelor de acționare ale întrerupătoarelor?

SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ȘI BOBINE DE REACTANȚĂ

1. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune

Siguranțele fuzibile sînt cele mai simple dispozitive de protecție a circuitelor electrice împotriva curenților de suprasarcină și scurtcircuit.

După locul de instalare se deosebesc siguranțe fuzibile de interior (SFI) și siguranțe fuzibile de exterior (SFE).

Corpul siguranței îndeplinește un dublu scop: pe de o parte el susține fuzibilul, iar pe de altă parte protejează personalul de exploatare împotriva împroșcării cu material fuzibil în cazul funcționării siguranței.

Fuzibilele siguranțelor se construiesc din metale sau aliaje cu temperaturi de topire scăzute. Cele mai utilizate materiale pentru fuzibile sînt: plumbul, aliajele de plumb, cositorul, aluminiul, cuprul și argintul.

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune sînt destinate protejării rețelelor de înaltă tensiune, transformatoarelor, liniilor în cablu și motoarelor alimentate cu înaltă tensiune.

Toate siguranțele de înaltă tensiune sînt prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric. După modul în care se realizează stingerea arcului se deosebesc:

— siguranțe tubulare umplute cu material inert de granulație fină (talc, nisip cuarțos, acid boric), numite și protejate;

— siguranțe tubulare din material generator de gaze, numite și neprotejate.

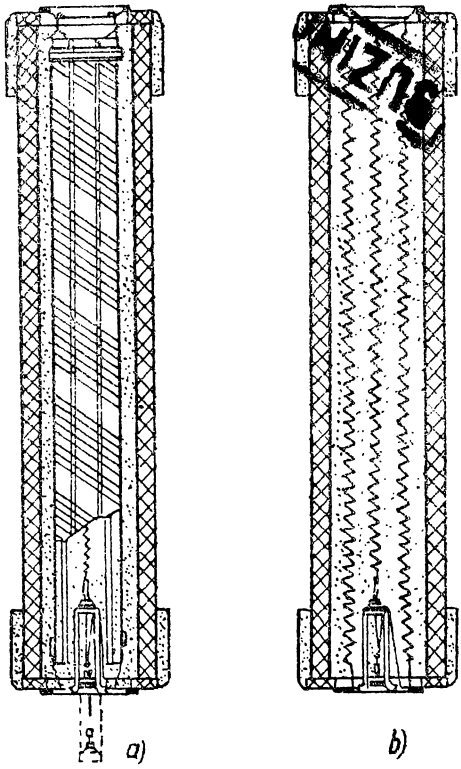


Fig. 18—25. Patroane de siguranțe și tuburi cu nisip de cuarț.

La siguranțele tubulare de tip protejat, prin mișcarea violentă a gazelor evaporate din materialul refractar în jurul arcului, acesta se răcește și se stinge rapid.

La siguranțele tubulare neprotejate, stingerea rapidă a arcului electric se datorește curenților de aer produși de căldura dezvoltată de fuzibil și de arcul însuși.

La stingerea arcului contribuie gazele încălzite produse de pereții tubului sub acțiunea arcului.

Lungimea corpului fuzibilelor crește cu tensiunea de exploatare. Fuzibilele și tuburile deschise de lungime mai mare trebuie să fie protejate la capete, pentru ca arcul suflat în afară să nu treacă asupra altor părți sub tensiune. Fuzibilele de înaltă tensiune și de mare putere de rupere sînt, în general, de tipul închis în materiale refractare. Presiunile care apar în fuzibile pot fi atît de mari încît pot sparge corpul siguranței.

Din această cauză, în tuburi se prevăd deschideri de siguranță pentru preluarea presiunilor. În figura 18—25 sînt prezentate patroanele a două siguranțe fuzibile cu tuburi umplute cu nisip de cuarț, folosite pentru tensiuni de 1—35 kV.

Siguranțele pentru curenți mai mari de 7,5 A au fuzibile cu diametre suficient de mari, astfel încît ele se pot așeza liber în tub, sub formă de spirală (fig. 18—25, *b*). Siguranțele pentru curenți mai mici de 7,5 A sînt prevăzute cu fuzibile din sîrmă de cupru argintat, cu diametru mic, și de aceea ele se așază pe un suport cilindric de ceramică (fig. 18—25, *a*).

Întreruperea circuitelor protejate de siguranțe se face într-un timp foarte scurt. Din această cauză, la întreruperea circuitelor pot apărea supratensiuni periculoase care pot atinge de cinci ori valoarea nominală a tensiunii de fază. Supratensiunile care apar sînt determinate de lungimea fuzibilului. În cazul unei lungimi mici a fuzibilului, după arderea fuzibilului poate apărea o nouă străpungere a spațiului rezultat prin topirea acestuia.

Descărcările de acest tip sînt periculoase. Pentru evitarea acestora se utilizează două metode.

Prima metodă constă în executarea fuzibilului din două sau trei tronsoane de secțiuni diferite. Inițial se topește tronsonul de secțiune minimă și arcul se reamorsează la revenirea tensiunii la bornele intervalului de lungime redusă. Ulterior se topesc pe rînd și celelalte tronsoane, pînă cînd se mărește intervalul disruptiv.

A doua metodă folosește, pe lîngă fuzibilul de lucru, un fuzibil auxiliar legat în paralel cu fuzibilul de lucru. Fuzibilul auxiliar este format din două tronsoane, primul fiind constituit dintr-un singur fir, iar al doilea din două fire răsucite. Capetele tronsoanelor nu vin în atingere, ci sînt legate în partea centrală a fuzibilului, la un inel de porțelan care constituie un interval de străpungere. Întîi se topește fuzibilul de lucru, după care supratensiunea poate străpunge intervalul de străpungere intrînd în circuit fuzibilul auxiliar care funcționează ca un fuzibil cu două tronsoane de secțiuni diferite.

Cele două metode descrise conduc la limitarea supratensiunilor care apar în instalații, limitîndu-le pînă la de trei ori tensiunea nominală pe fază. Pentru ca personalul de exploatare să poată constata care din siguranțe a lucrat, ele sînt prevăzute cu un mic indicator montat pe capătul siguranței. Acest indicator este fixat prin intermediul unui resort de fuzibilul siguranței. La arderea acestuia, sub influența resortului indicatorul este eliberat.

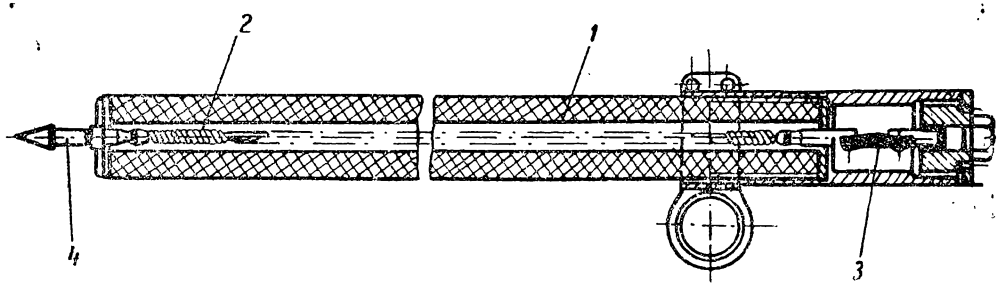


Fig. 18—26. Patron de siguranță fuzibilă în tub de viniplast, de 35 kV.

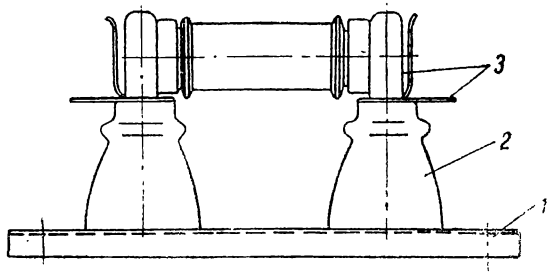


Fig. 18—27. Cadru metalic cu siguranță fuzibilă de înaltă tensiune.

În figura 18—26 este reprezentat patronul unei siguranțe fuzibile în tub de viniplast, pentru tensiunea de 35 kV.

Tubul *1* al patronului este de viniplast. Fuzibilul *3* este introdus în capacul metalic al patronului și este legat la un conductor flexibil *2*, terminat cu o capsulă metalică *4*.

În tub presiunea crește pînă la 200 atm și gazele rezultate sting arcul și ies afară. Astfel de siguranțe se construiesc pentru tensiuni pînă la 110 kV și se montează în stațiile exterioare.

Montarea siguranțelor în stații și posturi de transformare se face pe un cadru metalic *1* (fig. 18—27), prevăzut cu izolatoarele-suport *2*, care au la capete o clemă elastică *3*; în clemă se introduc capetele siguranțelor. Cadrul metalic se montează apoi pe pereții celulelor sau pe stîlpii posturilor de transformare. Poziția de montaj se alege în așa fel încît axa geometrică a patronului siguranței să fie verticală.

2. Bobine de reactanță

În rețelele de distribuție pot apărea deseori scurtcircuite puternice, însoțite de fenomene periculoase pentru funcționarea aparatajului din stațiile de transformare. Acțiunea periculoasă a curentului de scurtcir-

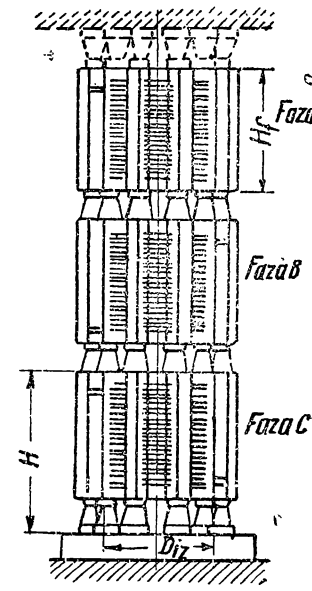


Fig. 18—28. Bobină de reactanță de 6 kV pe suport de beton.

cuit poate fi mult redusă prin limitarea lui. Aceasta se realizează prin introducerea în circuitul electric a bobinelor cu reactanță inductivă mare, așa-numitele reactoare.

Reactorul este o bobină fără miez de fier, cu reactanță mare și rezistență ohmică redusă. Efectul de limitare a curentului de scurtcircuit pe circuitul pe care este montat reactorul este cu atît mai mare, cu cît reactanța inductivă a reactorului este mai mare. O dată cu limitarea curentului de scurtcircuit se poate alege un aparataj mai ieftin.

Pentru tensiuni pînă la 10 kV și instalații interioare sînt foarte răspîndite reactoarele cu răcire în aer, montate pe coloane de beton. Bobinajul reactorului se execută din conductoare de cupru flexibil, izolate cu hîrtie de cablu și acoperite cu împletitură de bumbac impregnată cu lac. Bobinele se dispun în cîteva rînduri verticale și orizontale și se fixează în coloanele de beton. Coloanele de beton ale reactoarelor se instalează pe izolatoare-suport de porțelan.

În figura 18—28 este prezentat un reactor cu cele trei faze montate pe verticală. Cînd se dispune de spațiu suficient, fazele se pot monta fiecare separat pe orizontală.

Pentru tensiuni pînă la 35 kV, din motive de izolare și reducere a spațiului se construiesc reactoare în ulei de transformator. Constructiv, ele au în plus față de reactoarele în aer cuva de ulei confecționată din tablă și un ecran metalic inelar care înconjură reactorul propriu-zis. Ecranul așezat în interiorul cuvei servește pentru închiderea liniilor de cîmp magnetic.

Întrebări recapitulative

1. Cum sînt construite siguranțele fuzibile și care este rolul lor în instalațiile electrice?
2. Ce sînt bobinele de reactanță și care este rolul lor în instalațiile electrice?

TRANSFORMATOARELE DE PUTERE

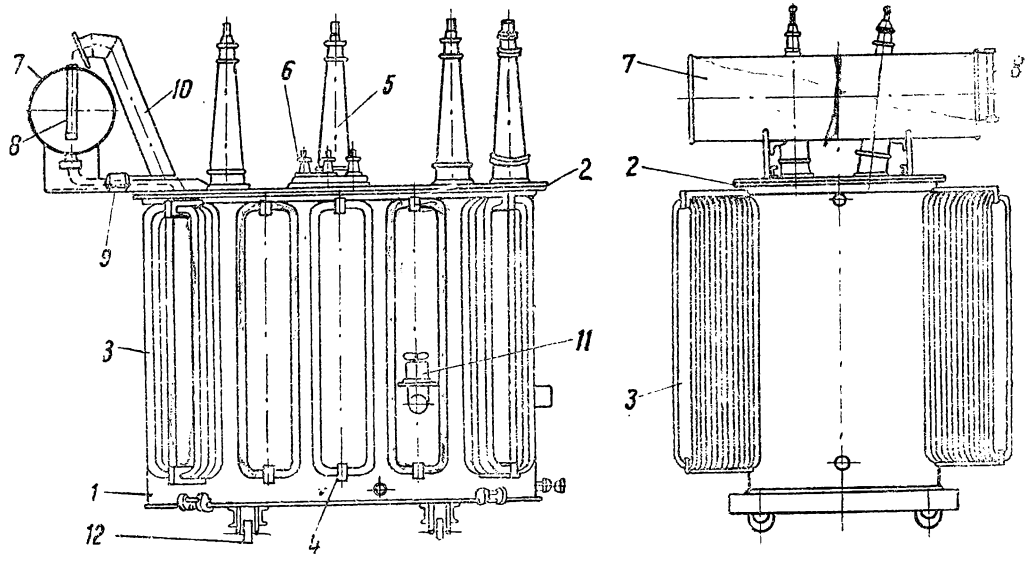
1. Descrierea părților componente

Transformatoarele de putere sînt alcătuite din miezuri magnetice de tablă silicioasă și din bobinaje introduse în cuve de oțel umplute cu ulei. Miezul transformatorului trifazat se compune de obicei din trei coloane încadrate la partea superioară de jugul superior, iar la partea inferioară de jugul inferior. Tolele sînt izolate între ele prin lac sau hîrtie și se strîng cu buloane. Pentru ca buloanele să nu scurtcircuiteze tolele între ele, între buloane și miez se pun tuburi izolante de pertinax; la capete, izolarea buloanelor se face cu rondele izolante.

Bobinele se montează pe coloanele miezului. Ele sînt constituite din conductoare de cupru sau aluminiu, izolate între ele cu straturi de hîrtie izolantă. Față de miez, bobinele se izolează cu tuburi și șaibe de preșpan.

Cuva transformatorului se umple cu ulei și se închide cu un capac. Capacul se etanșează la cuvă prin intermediul unei garnituri de cauciuc rezistent la acțiunea uleiului sau cu plută. Pe capacul transformatorului sînt fixate izolatoarele de trecere, prin care sînt scoase în exterior capetele bobinelor.

Fig. 18—29. Transformator cu răcire forțată cu aer:
1 — rezervor; *2* — capac; *3* — radiator cu țevi; *4* — robinet pentru cuplarea radiatorului; *5* — bornă de înaltă tensiune; *6* — bornă de joasă tensiune; *7* — conservator; *8* — indicator de nivel; *9* — releu de gaze; *10* — tub de siguranță; *11* — grup motor ventilator; *12* — role.



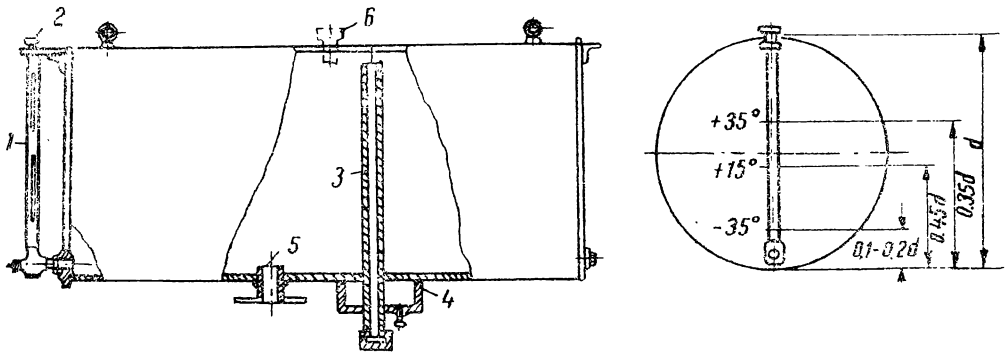


Fig. 18—30. Conservatorul transformatorului :
1 indicator de nivel; *2* — orificiu; *3* — țeavă pentru egalizarea presiunii; *4* — decantor de nămol; *5* — capătul țevii de legătură; *6* — buşon.

Uleiul de transformator îndeplineşte rol dublu. El serveşte, pe de o parte, la izolarea părţilor sub tensiune de părţile fără tensiune, iar pe de altă parte constituie mediul de răcire al transformatorului. Prin intermediul lui, căldura degajată în timpul funcţionării transformatorului este evacuată spre exterior.

Căldura provine din pierderile în bobinaje şi în miezul de oţel.

Uleiul încălzindu-se în apropierea miezului şi al bobinelor îşi micşorează densitatea şi se ridică la partea superioară şi înspre pereţii cuvei, unde cedează căldura acumulată.

Pereţii cuvei transformatorului sînt răciţi în contact cu curenţii de aer din atmosferă. La transformatoarele mari se execută o răcire forţată. Pentru aceasta, transformatoarele sînt echipate cu ventilatoare sau cu pompe de ulei.

În figura 18—29 este reprezentat aspectul exterior al unui transformator trifazat de putere mare cu răcire forţată.

Pentru ca răcirea să fie optimă, pereţii cuvei se execută cu suprafaţa mult mărită, realizată prin anexarea la cuvă a bateriilor de radiatoare.

Pentru a se permite dilatarea liberă a uleiului, cuva transformatoarelor mici se umple numai parţial cu ulei. În capacul cuvei se prevede un orificiu prin care iese sau intră aerul la variaţia volumului de ulei în cuvă. Acest lucru constituie şi un inconvenient, deoarece suprafaţa uleiului în contact cu aerul fiind mare, se produce alterarea lui datorită umezelii şi oxidării provocată de oxigenul din aer. Din această cauză, transformatoarele cu putere mai mare de 100 kVA sînt prevăzute cu un conservator de ulei montat pe capacul cuvei. Un astfel de conservator este reprezentat în figura 18—30.

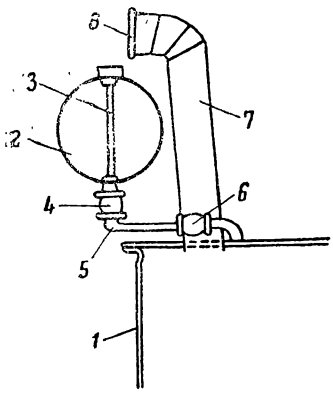


Fig. 18—31. Tub de siguranță montat pe transformator :

1 - cuva transformatorului ; *2* — conservator de ulei ; *3* — indicator de nivel ; *4* — ventil ; *5* — conductă de legătură ; *6* — releu de gaze ; *7* — tub de siguranță ; *8* — membrană.

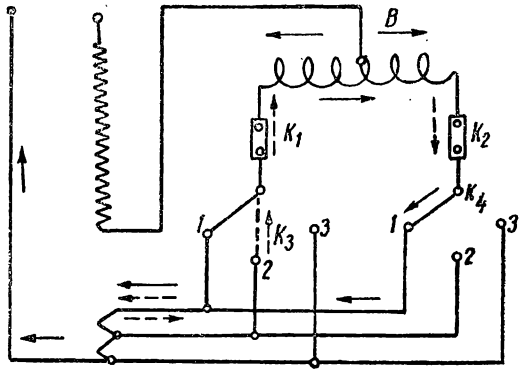


Fig. 18—32. Schema dispozitivului de comutare sub sarcină.

Conservatorul comunică cu cuva transformatorului printr-o țeavă, prin care circulă uleiul de la cuvă la conservator și înapoi. Prin aceasta se limitează suprafața de contact dintre ulei și aer.

Conservatorul este prevăzut cu un indicator de nivel al uleiului, executat din sticlă și protejat într-o cutie metalică pe care sînt trasate liniile corespunzătoare nivelului de ulei la temperaturile de —30 și +35 °C.

La transformatoarele de putere mare, în vederea protejării uleiului împotriva umezelii, se montează la conservator și un filtru de aer conținînd clorură de calciu.

Din cauza defectelor care pot apărea în funcționare, presiunea în interiorul cuvei poate crește inadmisibil de mult și cuva poate crăpa, scoțînd, transformatorul din funcțiune. De aceea, transformatoarele cu puteri mai mari de 1 000 kVA sînt prevăzute cu un tub de siguranță montat pe capacul cuvei (fig. 18—31).

Capătul de sus al tubului se închide ermetic cu o membrană, de cele mai multe ori de sticlă, care la presiuni mari se sparge permițînd gazelor și uleiului să expandeze în afară.

Pentru menținerea tensiunii secundare constante la diferite variații ale tensiunii primare aplicate, transformatoarele sînt prevăzute cu prize de reglaj de $\pm 5\%$ față de valoarea tensiunii nominale.

Prizele se conectează la ploturile unui comutator de ploturi, care se poate acționa din exteriorul transformatorului, cu un mîner montat pe capacul cuvei. Comutatoarele se execută fie trifazate, fie monofazate, cu comanda fiecărei faze în parte.

Acționarea comutatorului se poate face numai după întreruperea completă a tensiunii.

În cazul cînd întreruperea tensiunii nu este posibilă, fiind vorba de consumatori importanți, se recurge la montarea transformatoarelor cu reglaj sub sarcină.

Schema de principiu a unui astfel de dispozitiv pentru reglajul tensiunii sub sarcină pentru o singură fază este reprezentat în figura 18—32. Legăturile se pot urmări pe figură. Suplimentar apare bobina B cu priză mediană. În schemă sînt două contactoare K_1 și K_2 și două comutatoare K_3 și K_4.

Prin comutarea eșalonată a contactoarelor și a comutatoarelor pe cele trei poziții *1*, *2* și *3* se reușește ca în nici un moment curentul prin bobinajul transformatorului să nu fie întrerupt.

Acționarea dispozitivului se face cu ajutorul unui motor electric comandat de la distanță, manual sau automat, prin releul de tensiune.

Bobina și comutatoarele se montează în interiorul cuvei. Contactoarele se montează afară din cuvă, într-un mic rezervor cu ulei atașat la cuva transformatorului. Periodic, uleiul din rezervor se înlocuiește, iar contactele contactoarelor se curăță.

În exploatare este necesară urmărirea în permanență a temperaturii uleiului de transformator. Ridicarea temperaturii uleiului denotă fie deteriorarea izolației miezului de fier, fie deteriorarea izolației bobinelor. Pentru urmărirea temperaturii uleiului se montează termometre. Acestea pot fi cu sau fără contacte de semnalizare. Cele cu contacte de semnalizare semnalizează acustic sau optic atunci cînd temperatura uleiului a depășit valoarea admisă. Pe conducta care leagă conservatorul de ulei cu cuva transformatorului se instalează releul de gaze. Acesta semnalizează scurgerea uleiului din conservator, pătrunderea aerului în transformator sau defecte în interiorul transformatorului. Atunci cînd defectul este grav, releul de gaze acționează asupra circuitului de deconectare al transformatorului.

Pentru ușurarea trecerii gazelor de sub capacul cuvei în conducta care comunică cu conservatorul, partea transformatorului dinspre conservator este ridicată cu 1—1,5%, iar conducta conservatorului are o înclinare spre conservator de 2—4%.

Pentru umplerea cuvei cu ulei, pentru luarea probelor de ulei și pentru fixarea aparatajului de curățit uleiul pe capacul și pe partea de jos a cuvei transformatorului sînt prevăzute ventile sau dopuri. Pe conducta conser-

vatorului există un ventil pentru separarea conservatorului de cuvă în timpul reparațiilor. Partea inferioară a cuvei are un șurub pentru a fi conectată la centura de legare la pămînt.

2. Transportul transformatoarelor

Transportul transformatoarelor mici de la fabrică la locul de montaj se face cu mijloace obișnuite (vagon de cale ferată și autocamion). Încărcarea și descărcarea se execută cu macarale fixe sau mobile. Pe perioada transportului roțile de rulare ale transformatorului se demontează. Manipularea transformatoarelor se face cu multă grijă, pentru a nu se răsturna sau sparge izolatoarele și tubul de nivel.

Transformatoarele mari se transportă luîndu-se măsuri speciale. Roțile, radiatoarele și conservatorul de ulei se transportă demontate. În locul radiatoarelor, în orificiile cuvei se montează flanșe oarbe. Uleiul de transformator pentru conservator se transportă de asemenea în mod separat. Mijlocul utilizat pentru transport este vagonul de cale ferată, pînă la cea mai apropiată stație de locul de montare. De aici pînă la locul de montare transportul se execută cu remorci speciale pentru mari greutăți, remorcate de tractoare. Pentru protejarea uleiului de transformator împotriva oxidării în contact cu aerul înconjurător (conservatorul fiind demontat), la cuva transformatorului se racordează butelii cu azot.

3. Montarea transformatoarelor

Transformatoarele de forță se montează atît în interior, cît și în exterior. Transformatoarele montate în exterior au condiții de funcționare mai bune din punctul de vedere al răcirii.

Transformatoarele montate în interior trebuie așezate în încăperi cu ventilație naturală, care să permită funcționarea transformatorului la sarcină nominală în orice anotimp al anului.

Așezarea transformatoarelor este astfel aleasă, încît să fie asigurate condiții optime pentru controlul nivelului uleiului în conservator și în izolatoare, al temperaturii uleiului, al releului de gaze, precum și pentru luarea probelor de ulei.

Transformatoarele care se montează în exterior se așază pe o cale de rulare executată din șină de cale ferată și fixată pe fundații. În această po-

ziție, la roți se montează saboți pentru imobilizare. Terenul de sub transformator se acoperă cu un strat de pietriș de cel puțin 25 cm grosime. Stratul de pietriș trebuie să depășească gabaritul orizontal al cuvei transformatorului cu cel puțin 1 m.

Transformatoarele plasate lîngă clădiri sînt prevăzute cu cuve de beton, canale și rezervor central pentru colectarea uleiului în cazul unei explozii a cuvei.

Întrebări recapitulative

1. Ce rol au transformatoarele de putere?
2. Cum se face reglajul tensiunii transformatoarelor?
3. Cum se efectuează transportul transformatoarelor de putere?
4. Unde se montează transformatoarele de putere?

TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Măsurarea directă a curentului și a tensiunii în instalațiile de înaltă tensiune prezintă mari dificultăți, în sensul că aparatele de măsurat ar trebui să fie construite cu gabarite mari și complicate din punctul de vedere al izolației electrice. Pe de altă parte, astfel de aparate ar constitui un permanent pericol pentru personalul de exploatare. De aceea, voltmetrele, ampermetrele, wattmetrele etc. se conectează în circuite, prin intermediul transformatoarelor de măsurare.

Transformatoarele de tensiune (fig. 18—33) sînt destinate reducerii tensiunii electrice în vederea măsurării ei. Un astfel de transformator se compune dintr-un miez de fier *1*, bobinajul primar *2* și cel secundar *3*.

Bobinajul primar, cu un număr mare de spire, se leagă la circuitul de înaltă tensiune, iar bobinajul secundar, cu un număr redus de spire, se leagă la aparate (voltmetre, bobinele de tensiune ale contoarelor și wattmetrelor, relee de protecție etc.).

Bobinajul secundar este dimensionat pentru tensiunea standardizată de 100 V.

Condiția de bază impusă transformatoarelor de tensiune este aceea a respectării întocmai a coeficientului de transformare. Acesta nu trebuie să varieze cu sarcina, deoarece în acest fel măsurările se fac eronat. De obicei, la sarcină mică eroarea este minimă și crește o dată cu creșterea sarcinii.

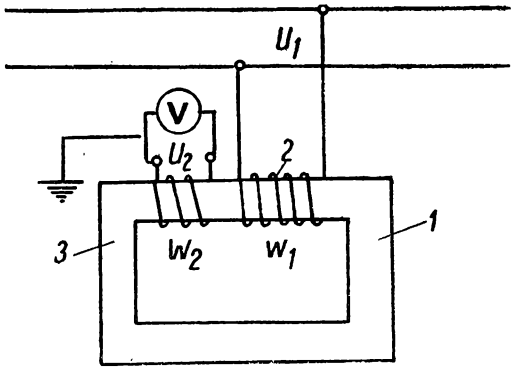


Fig. 18—33. Schema transformatorului de tensiune monofazat.

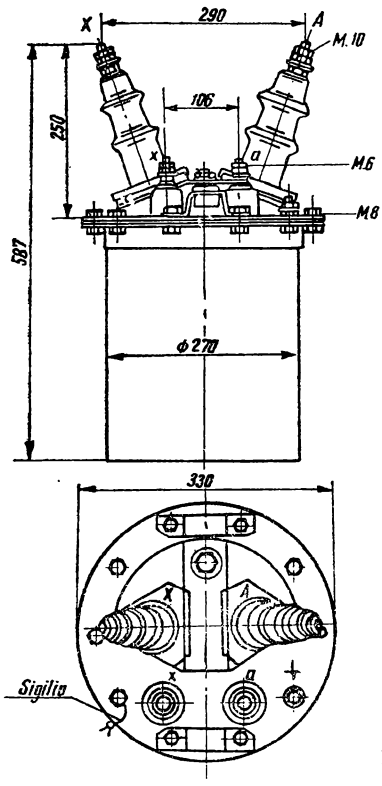
După valoarea erorilor, transformatoarele se clasifică în diferite clase de precizie. Transformatoarele de clasă 0,5 sînt cele mai precise și servesc la alimentarea voltmetrelor și a contoarelor. Transformatoarele de clasa I se întrebuințează la alimentarea aparatelor de măsurat de la tabloul de comandă și la alimentarea releelor de protecție, care necesită mare precizie, iar transformatoarele de clasa a III-a se întrebuințează la relee de precizie normală. Cifra care indică clasa de precizie reprezintă valoarea maximă a erorii coeficientului de transformare, în procente. Eroarea coeficientului de transformare este o diferență între valoarea reală a coeficientului de transformare în timpul măsurării și valoarea sa nominală indicată pe plăcuța transformatorului.

Dacă se utilizează transformatorul în cadrul puterii sale nominale, clasa de precizie se păstrează. Cînd puterea nominală a transformatorului este depășită, clasa de precizie scade.

Puterea transformatoarelor de tensiune se dă în voltamperi (VA) și este înscrisă pe plăcuța transformatorului. Transformatoarele de tensiune de fabricație curentă sînt de tipurile monofazate și trifazate, cu trei sau cinci coloane.

Pentru tensiuni de 110 kV și mai mari se fabrică transformatoare în etaje, cu bobinaje legate după diferite scheme relativ complicate.

După locul de instalare se deosebesc transformatoare de interior și transformatoare de exterior. De obicei, transformatoarele de tensiune se execută cu două bobinaje secundare, dintre care unul (clasa 0,5 sau I) servește la alimentarea aparatelor de măsurat, iar cealaltă (clasa III) la alimentarea releelor de protecție. Transformatoarele pentru tensiuni pînă la 3 kV se execută uscate, iar cele cu tensiuni care depășesc 3 kV se execută în ulei.



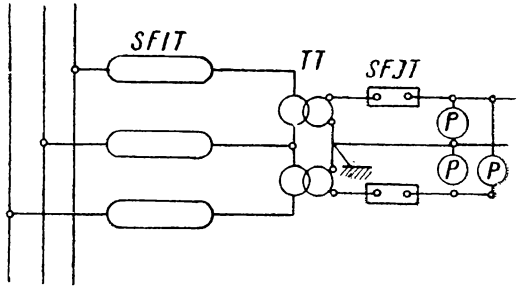


Fig. 18—35. Montajul în V al trarsformatoarelor de tensiune :

SFIT — siguranțe fuzibile de înaltă tensiune; *SFJT* — siguranțe fuzibile de joasă tensiune; *TT* — transformatoare de tensiune; *P* — sarcini secundare.

Fig. 18—34. Transformator de tensiune monofazat în ulei, de 15/0,1 kV.

Bobinajele transformatoarelor de tensiune se conectează în stea sau în stea incompletă (în V).

În figura 18—34 este reprezentat un transformator de tensiune de 15/0,1 kV, iar în figura 18—35 montarea în V a două transformatoare monofazate.

Bobinajele secundare ale transformatoarelor de tensiune se leagă obligatoriu la pămînt, din considerente de protecția muncii. Legarea la pămînt este motivată de posibilitatea străpungerii izolației dintre înfășurări și astfel partea de joasă tensiune a transformatorului ajunge la înaltă tensiune, constituind un pericol pentru personalul de exploatare.

Pe partea de joasă tensiune se montează siguranțe fuzibile care protejează transformatorul împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor din circuitul secundar. Siguranțele se reglează pentru curentul maxim de 2 A.

Pe partea de înaltă tensiune se întrebuințează siguranțe fuzibile numai la transformatoarele de tensiune de pînă la 35 kV.

Acestea au scopul de a deconecta transformatorul în cazul apariției unui scurtcircuit în interiorul său.

Pentru reducerea curenților de scurtcircuit și ușurarea condițiilor de funcționare a siguranțelor fuzibile, în serie cu transformatorul se obișnuiește a se monta rezistențe limitatoare de curent.

Întrebări recapitulative

1. Cum se montează un transformator de tensiune?
2. Ce se înțelege prin clasa de precizie a unui transformator de tensiune?
3. Ce tipuri constructive de transformatoare de tensiune se folosesc?

TRANSFORMATOARE DE CURENT

Transformatorul de curent (fig. 18—36) este alcătuit dintr-un miez de oțel *1* cu două bobinaje: unul primar *2*, prin care circulă curentul primar de înaltă tensiune, și unul secundar *3*, prin care circulă curentul secundar de tensiune joasă. Bobinajul primar format dintr-un număr mic de spire, uneori chiar una singură, se leagă în serie cu circuitul electric al cărui curent trebuie măsurat.

Bobinajul secundar conține mai multe spire. La bornele acestuia se leagă ampermetrele, bobinele de curent ale contoarelor, ale wattmetrelor, ale releelor etc.

Rezistențele bobinelor de curent ale acestor aparate sînt mici, deci la bornele secundare ale transformatorului se obține o tensiune de valoare mică. Aceasta are drept consecință existența unui flux magnetic de asemenea mic în interiorul miezului magnetic, ca rezultat al echilibrului dintre acțiunea de magnetizare a bobinajului primar și aceea de demagnetizare a bobinajului secundar.

Dacă se deschide circuitul secundar al transformatorului, acțiunea de demagnetizare a bobinajului secundar dispare și echilibrul în transformator se strică. Fluxul dat de bobinajul primar crește brusc și considerabil de mult. Aceasta poate produce încălzirea exagerată a miezului transformatorului și arderea lui. Creșterea fluxului magnetic provoacă tensiuni ridicate la bornele bobinajului secundar, tensiuni periculoase pentru personalul de exploatare, ca de altfel și pentru transformator, ale cărui bobine se pot străpunge.

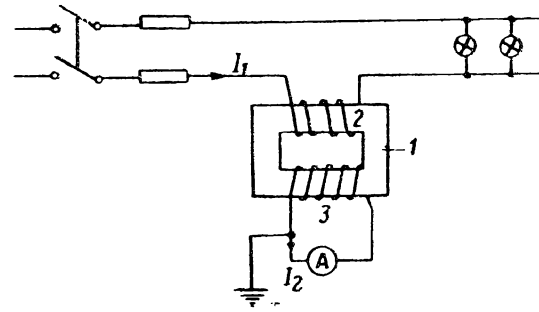


Fig. 18—36. Schema de legare în circuit a unui transformator de curent.

Din aceste cauze bornele secundare ale transformatorului trebuie să fie întotdeauna închise, fie prin bobinele aparatelor, fie prin scurtcircuitare. În cazul cînd se demontează un aparat legat la bornele secundare, mai întîi trebuie să se scurtcircuiteze bornele și numai după aceea să se desfacă legăturile aparatului.

Curentul din bobinajul secundar al transformatorului de curent se poate deduce din relația

$$k = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}, \tag{18.1}$$

în care : I_1 și I_2 sînt curenții în primar și secundar ;
w_1 și w_2 — spirele în primar și secundar ;
k — raportul de transformare.

Curentul secundar al transformatoarelor de curent este standardizat la 5 A.

Ca și transformatoarele de tensiune, transformatoarele de curent se clasifică după clasele de precizie, care sînt : 0,5 ; 1 ; 3 ; 10. Transformatoarele cu clasă de precizie 0,5 se utilizează pentru contoare, iar cele de clasa 1 pentru wattmetre, fazmetre, relee de precizie mai mare. Transformatoarele cu clasa de precizie 3 și 10 se utilizează pentru aparatele de tablou de precizie mică și pentru releele de curent.

Ca și la transformatoarele de tensiune, bobinajul secundar trebuie legat în mod obligatoriu la pămînt.

Transformatoarele de curent se construiesc atît pentru interior, cît și pentru exterior.

Din punct de vedere constructiv sînt : transformatoare de trecere-bară, transformatoare tip suport și transformatoare montate direct în întrerupător.

Transformatoarele de trecere-bară folosesc bare drept bobinaj primar. În figura 18—37 este dată schema de principiu a unui astfel de transformator iar în figura 18—38 aspectul său exterior.

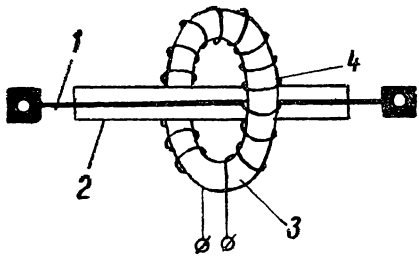
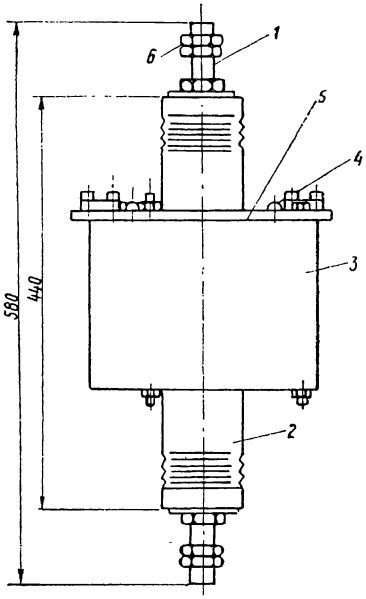


Fig. 18—37. Schema de principiu a transformatorului de curent tip bară cu o singură spiră :

1 — circuit primar; *2* — izolator; *3* — miezul bobinajului; *4* — bobinaj secundar.



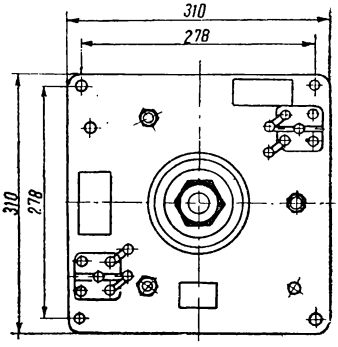


Fig. 18—38. Transformator de curent de 10 kV și 600 A :

1 — tijă conductoare de curent; *2* — izolator; *3* — carcasă; *4* — borne de legare a circuitului secundar; *5* — flanșă; *6* — piuliță.

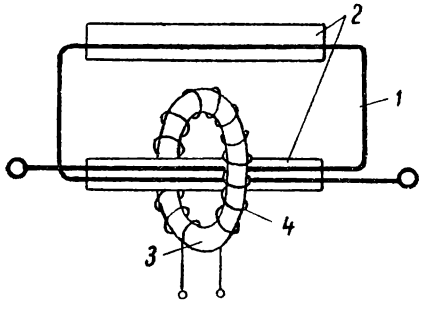
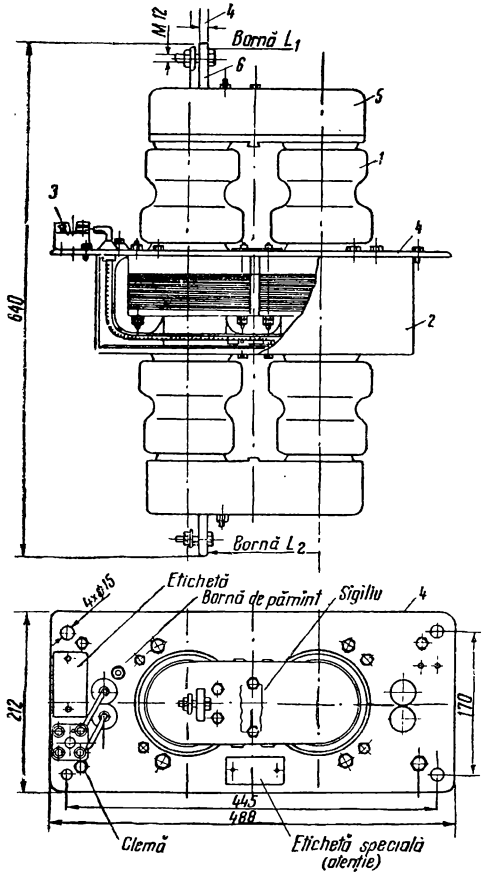


Fig. 18—39. Schema de principiu a transformatorului de curent cu mai multe spire :

1 — circuit primar; *2* — izolator; *3* — miezul bobinajului; *4* — bobinaj secundar.



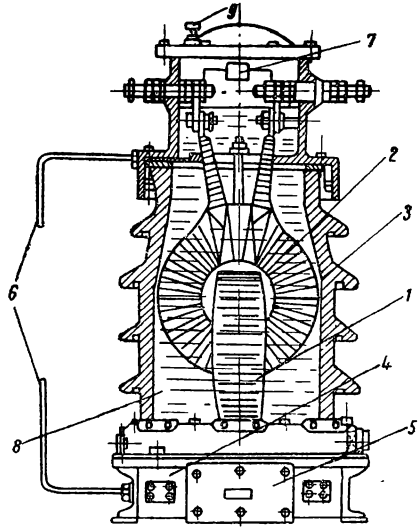


Fig. 18—41. Secțiune prin transformatorul de curent CESU, de 35 kV:

1 — bobinaj primar; *2* — bobinaj secundar; *3*—izolator-cuvă; *4*—soclu; *5*—cutia bornelor secundare; *6* — descărcător cu coarne; *7* — descărcător cu silit; *8* — ulei; *9* — supapă de siguranță.

Fig. 18—40. Transformator de curent de 10 kV și 200 A.

Tija conducătoare de curent *1* trece prin interiorul izolatorului de porțelan *2*, fixat în flanșa *5*, care servește la fixarea transformatorului. Miezul împreună cu bobinajul secundar este introdus pe partea mijlocie a izolatorului și închis cu carcasa *3*, executată din tablă de oțel.

Schema de principiu a unui transformator cu mai multe spire este reprezentată în figura 18—39, iar aspectul său exterior în figura 18—40.

Bobinajul primar trece prin interiorul izolatoarelor de porțelan *1*, fixate în flanșa *4* a cuvei *2* și îmbinate la ambele capete, prin cutiile terminale de fontă *5*. Capetele primare sînt conectate la plăcile de contact *6*, care servesc la racordarea barelor instalației de distribuție. Bobinele secundare ale ambelor jumătăți de coloană se leagă în serie și capetele lor se leagă la bornele *3*. Aceste transformatoare au două bobinaje secundare, unul de

clasa *1* și altul de clasa *3*. Transformatoarele de curent de *tip suport* cu izolatoare de porțelan se construiesc pentru instalații cu tensiunea peste 35 kV. Ele sînt destinate să funcționeze în aer liber și sînt de tipul cu mai multe spire.

O secțiune printr-un astfel de transformator este reprezentată în figura 18—41.

Pentru tensiuni mai mari (110 kV), construcția transformatoarelor este similară.

De cîțiva ani a început fabricarea transformatoarelor de tensiune și curent cu bobinajele înglobate într-o masă izolantă rășinoasă; acestea au dimensiuni reduse.

Montarea transformatoarelor de curent și de tensiune se face în interiorul sau în exteriorul stațiilor electrice, după caz. Dacă stația electrică este de tip interior, transformatoarele se așază în celule pe stelajele metalice, care fac parte integrantă din construcția celulei.

În stațiile exterioare, transformatoarele de măsurare se montează pe suporți de beton prefabricați sau pe fundații speciale.

Întrebări recapitulative

1. Ce este transformatorul de curent și care este rolul lui în instalație?
2. Cum se conectează transformatoarele de curent?
3. Ce tipuri constructive de transformatoare de curent se folosesc?

SIMBOLURI UTILIZATE ÎN SCHEMELE ELECTRICE ALE STAȚIILOR

Pentru a reprezenta instalațiile electrice de înaltă tensiune, aparatele existente și succesiunea în care sînt conectate, se întocmesc scheme de conexiuni. Pentru fiecare aparat și element al instalației s-a adoptat o notație grafică sau un simbol prin care acel element este reprezentat în schemă.

În figura 18—42 sînt reprezentate simbolurile pentru aparatele cele mai întrebuințate în instalațiile electrice.

În scheme aparatele pot fi reprezentate desenînd toate conductoarele și fazele (scheme trifilare) sau un singur conductor (scheme monofilare).

În schemele de principiu, reprezentarea aparatelor se face în așa fel încît legăturile să apară cît mai scurte; aparatele sînt reprezentate simplu, fără

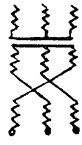
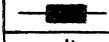
	Conexiune în triunghi a unui bobinaj trifazat.		Transformator cu două înfășurări, semn general
	Conexiune în stea a unui bobinaj trifazat.		Transformator cu trei înfășurări, semn general.
	Conexiune în zig-zag a unui bobinaj trifazat.		Autotransformator, semn general.
	Transformator trifazat cu conexiunea stea-stea		Baterie de acumulator semn general.
	Transformator trifazat cu conexiunea stea-triunghi.		Separator.
	Transformator trifazat cu conexiunea stea-zig-zag.		Întrerupător de înaltă tensiune cu putere de rupere mare.
			Siguranță fuzibilă.
	Rezistență.		Transformator de curent montat pe o fază.
	Bobină.		Contact normal deschis
	Condensator.		Contact normal închis.
	Bobină cu rezistență și reactanță inductivă.		Contor, semn general.
	Legătură la pământ, semn general.		Contor de energie reactivă.
	Lampă cu incandescență.		Contor de energie activă.
	Lampă de semnalizare.		
	Mașină rotativă sau aparat de măsurat, semn general.		Releu, semn general.
	Mașină rotativă cu colector, semn general.		Sonerie electrică. Hupă electrică (claxon)
	Bobină de reactanță (reactor).		Releu de semnalizare.

Fig. 18 42. Notații convenționale ale aparatelor electrice mai des folosite în scheme.

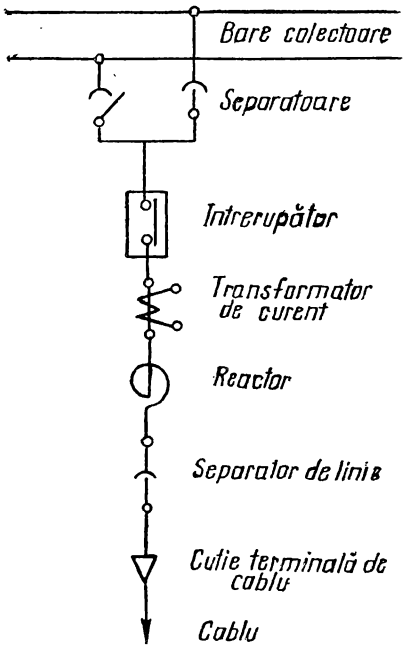


Fig. 18—43. Schemă monofilară de conexiuni a unei linii de plecare în cablu.

borne, ceea ce asigură claritatea schemei. Schemele de montaj sînt detaliate și servesc pentru montarea instalațiilor.

În figura 18—43 este reprezentată schema monofilară de conexiuni a unei linii electrice cu plecare în cablu, de pe un sistem dublu de bare colectoare. În această schemă se trec aparatele necesare, precum și succesiunea logică a legării lor.

Întrebări recapitulative

1. Cum se pot reprezenta aparatele în schemele electrice?
2. Ce se înțelege prin schema monofilară a unei instalații?

CONSTRUCȚIA STAȚIILOR ELECTRICE

Stațiile electrice pot fi *interioare*, cu aparatele instalate în încăperi închise, și *exterioare*, cu aparatele instalate pe construcții deschise.

Stațiile interioare se folosesc în mod obișnuit pentru tensiuni pînă la 35 kV și numai în cazuri excepționale pentru tensiuni mai mari decît 35 kV.

Stațiile cu tensiunea de 35 kV și mai mare se execută în exterior. Aceasta permite realizarea unor economii însemnate la construcția clădirilor.

Instalațiile exterioare sînt folosite uneori și pentru stațiile de 6—15 kV de putere redusă.

Stațiile electrice trebuie să fie astfel construite încît să îndeplinească următoarele condiții: siguranță în funcționare, deservire ușoară, securitate din punctul de vedere al protecției muncii și preț redus.

Siguranța în funcționare este determinată de o serie de factori, ca: respectarea distanțelor de izolație pentru părțile sub tensiune, instalarea corectă a echipamentului, utilizarea blocajelor dintre întrerupătoare și separatoare, calitatea lucrărilor de montaj, întreținerea corectă a instalațiilor, alegerea unei scheme corespunzătoare etc.

Deservirea ușoară se realizează prin construcții luminoase și încăpătoare, prin așezarea dispozitivelor de acționare în locuri potrivite pentru manevrare ușoară, prin automatizare și mecanizare și prin asigurarea posibilităților de supraveghere comodă a instalațiilor.

Securitatea personalului de exploatare se asigură prin utilizarea plaselor metalice despărțitoare legate la pămînt, pereți despărțitori între diferitele aparate și barele colectoare, dotarea stației și a personalului cu echipament de protecție a muncii, instructaj periodic etc.

Economicitatea instalației se realizează prin alegerea corectă a echipamentului electric și a soluției constructive și prin simplificarea operațiilor de întreținere și exploatare.

STAȚIILE INTERIOARE

Tipurile constructive și gabaritele stațiilor interioare sînt determinate de tensiunea nominală, de tipul aparatelor și de complexitatea schemei de conexiuni.

Distanțele minime admisibile între elementele conductoare, precum și față de alte părți ale instalației sînt date în *Prescripțiile de exploatare tehnică a centrelor și rețelelor electrice* (PET) din anul 1960.

În instalațiile de distribuție cu tensiunea peste 1 000 V, distanțele în linie dreaptă (exprimate în centimetri) dintre elementele conductoare sub tensiune și împrejmuirile cu caracter permanent, trebuie să aibă cel puțin valorile din tabela 18—1.

Tipul construcției este determinat de tipul întrerupătoarelor care urmează a se monta. Întrerupătoarele cu ulei mult necesită construcții voluminoase de cărămidă sau beton armat, prevăzute cu camere de explozie. Întrerupătoarele cu ulei puțin permit realizarea de construcții cu pereți despărțitori

Tabela 18—1

Distanța dintre împrejmuirile fixe și părțile sub tensiune, în instalații de distribuție interioare în cm

Felul împrejmuirii	*Pentru kV tensiuni*								
	3	6	10	15	25	30	35	60	110
Plase și uși din plase	17,5	20	22,5	25	32	36	39	54	82
Împrejmuiri complete și uși metalice	10,5	13	15,5	18	25	29	32	46	75

din azbociment, tablă sau alte materiale mai ușoare și mai ieftine. Aceasta a permis realizarea celulelor prefabricate, care sînt executate în ateliere centrale și apoi sînt transportate și montate.

Schema adoptată impune, de cele mai multe ori, construcții cu etaj. Schemele cu bare duble necesită, de obicei, clădiri cu parter și etaj. Schemele cu bare duble și cu reactoare pe liniile de plecare necesită construcții cu parter și două etaje.

Tensiunea instalației este unul din elementele care impune un anumit tip de construcție.

Pentru tensiuni joase, pînă la 500 V, întrerupătoarele nu ocupă spații însemnate și nu prezintă pericol de explozie, permițînd construcția stațiilor de distribuție sub forma unor simple tablouri de distribuție.

Pentru tensiunile de 6—15 kV se folosesc întrerupătoare cu ulei mult, care necesită camere de explozie, deci clădirile sînt voluminoase. În măsura posibilităților, tipurile de întrerupătoare cu ulei mult se evită, prin folosirea întrerupătoarelor cu ulei puțin, ajungîndu-se astfel la soluții constructive de volum mai redus.

Pentru tensiunile de 35-110 kV se folosesc, în general, întrerupătoare cu ulei puțin sau cu aer comprimat. Construcția se execută cu parter și etaj.

În prezent se folosesc cu precădere instalațiile de distribuție prevăzute cu celule, în care se montează echipamentul electric al stației.

Instalațiile de distribuție cu tensiunea pînă la 500 V se execută sub forma unor tablouri de distribuție. Tabloul de distribuție este format dintr-un schelet metalic îmbrăcat cu tablă. Pe fața panoului se montează aparatele de măsurat și manetele întrerupătoarelor cu pîrghie. Barele colectoare, întrerupătoarele, siguranțele fuzibile, reductoarele de curent etc. se montează în spatele tabloului.

Vederea generală a unui astfel de tablou este prezentată în figura 18—44, iar schema de conexiuni în figura 18—45.

În fața tabloului și în spatele lui se lasă spațiu liber pentru acces.

Pagină lipsă 303

Pagină lipsă 304

Pagină lipsă 305

Pagină lipsă 306

CELULE PREFABRICATE DE INTERIOR

Ritmul de dezvoltare a energeticii a impus găsirea de metode rapide de construcție a stațiilor. Una dintre aceste metode este folosirea celulelor tipizate prefabricate.

Acestea se construiesc în ateliere centrale specializate și se transportă pe șantier sub formă de elemente sau secțiuni, unde se asamblează.

Celulele prefabricate pot fi construite sub forma unor dulapuri metalice închise. Cînd celulele prefabricate sînt complet etanșe ele se mai numesc și capsulate. În figura 18—49 este reprezentată o celulă de linie de 6—10—15 kV cu bare simple de tip TEM (Trustul Electromontaj). Celula este construită din tablă de oțel și profile de oțel și are o greutate totală de 1 500 kgf.

În partea superioară a celulei se găsesc barele colectoare ale stației notate cu *T. S. R.*, fixate pe izolatoare de trecere. Separatorul de bare *1* este comandat cu dispozitivul de acționare *2* din forța celulei, iar circuitul este închis

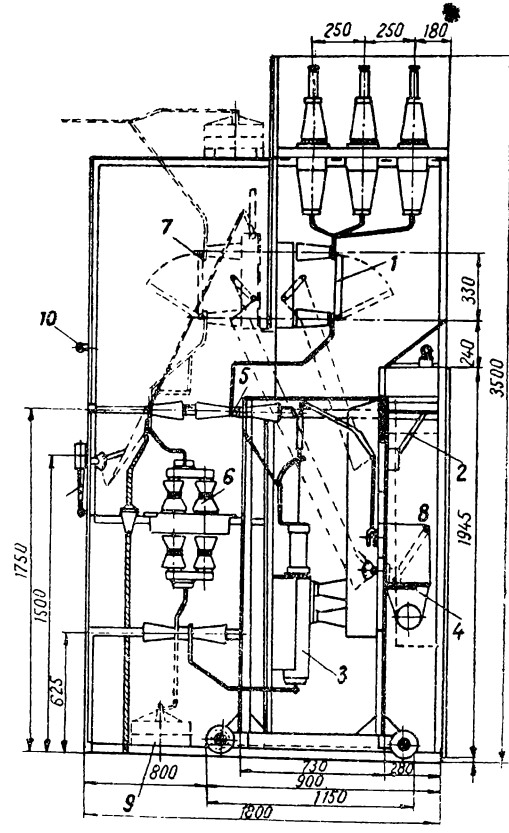


Fig. 18—49. Celule de linie tip TEM.

cu întrerupătorul (IUP 10—15) notat cu cifra *3*, comandat din fața celulei cu ajutorul unui dispozitiv de acționare *4* manual, cu greutăți, cu resort sau pneumatic (în figură dispozitivul este de tipul pneumatic).

Legătura cu întrerupătorul se realizează sub forma unei prize *5*, care se desface atunci cînd întrerupătorul se scoate din celulă împreună cu căruciorul pe care este montat.

În continuare, la ieșirea din întrerupător curentul trece prin transformatoarele de curent și de aici prin separatorul cu cuțite de punere la pămînt *7*, la linia de plecare, care poate fi aeriană (partea punctată din figură) sau subterană (linie în cablu). Separatorul de plecare cu cuțite de punere la pămînt, poate fi acționat din spatele sau din fața celulei, cu dispozitive de acționare manuale *8*.

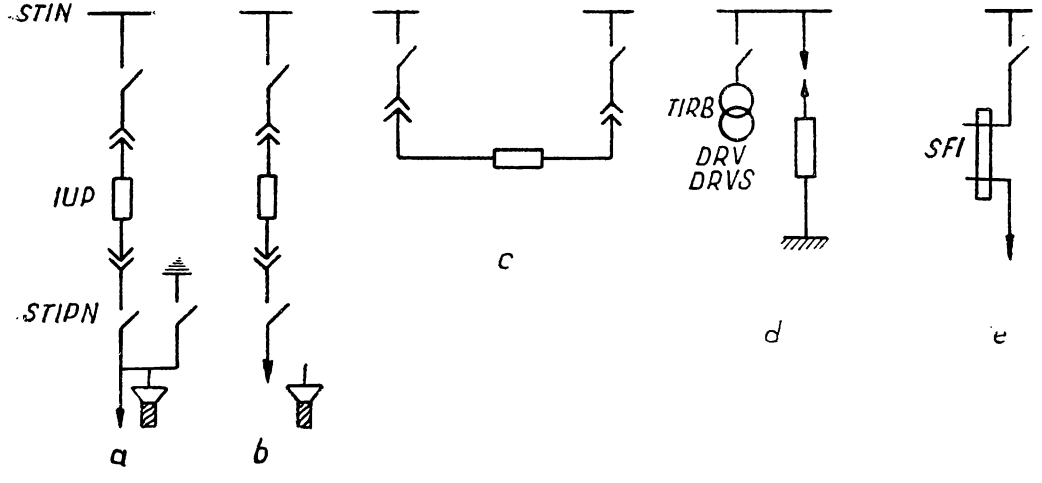
Pentru alimentarea circuitelor de măsură, protecție și semnalizare se folosesc transformatoare de tensiune *9* montate pe liniile de plecare. Celulele sînt iluminate cu tuburi fluorescente *10*.

Celulele prefabricate de interior tip TEM se pot construi cu sistem simplu sau dublu de bare pentru tensiuni de 6; 10 sau 15 kV și curenți maximi de 1 000 A pentru celulele de linii, respectiv 2 000 A pentru celulele de transformator și cuplă.

În afară de celulele de linii, transformator și cuplă se mai construiesc celule de acest tip pentru măsură și servicii interne.

În figură 18—50 se dau cîteva scheme reprezentînd variante din celulele de tip TEM.

Fig. 18—50. Scheme de celule tipizate de 6, 10, 15 kV tip TEM:
a — celulă de linie cu plecare aeriană sau în cablu; *b* — celulă de transformator cu plecare aeriană sau în cablu; *c* — celulă de cuplă longitudinală; *d* — celulă de măsură cu descărcători simpli; *e* — celulă de servicii interne.



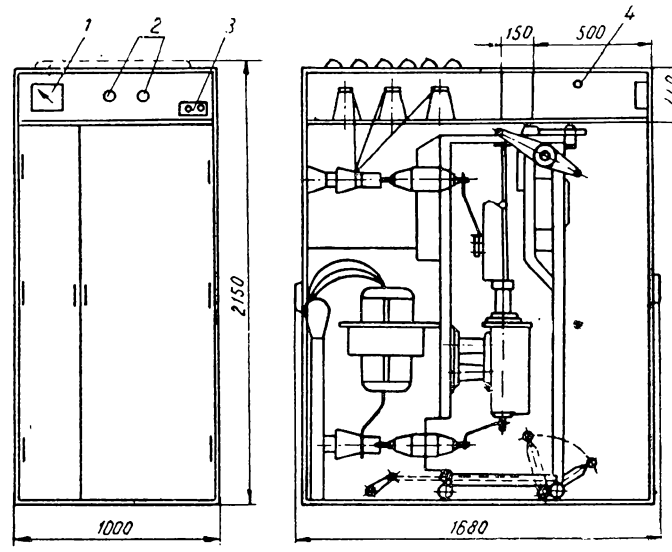


Fig. 18—51. Celulă de interior tip Electroputere-Craiova :
1 — ampermetru; *2* — lămpi de semnalizare; *3* — buton de comandă; *4* — canal pentru cabluri de circuite secundare.

Celulele prefabricate de interior tip TEM sînt simbolizate cu litere și cifre indicînd varianta constructivă, date asupra sistemului de acționare a întrerupătorului, precum și alte caracteristici, astfel că ele se pot ușor identifica.

Uzinele Electroputere—Craiova fabrică celule similare pentru stațiile interioare ale întreprinderilor industriale, avînd însă dimensiuni constructive mai mici și greutate mai mică.

În figura 18—51 este reprezentată o astfel de celulă de interior (vedere din față și secțiune prin celulă).

O astfel de celulă este echipată în partea superioară cu un mic dulap de aparate de măsurat, de protecție și de semnalizare, care permit supravegherea funcționării instalației în permanență.

Atît celulele de interior tip TEM, cît și celulele tip Electroputere posedă un sistem de blocaj care nu permite scoaterea în afară a căruciorului cu întrerupătorul, înainte ca acesta să fie deschis, evitîndu-se astfel posibilitatea unor accidente.

Întrebări recapitulative

1. Din ce se execută celulele prefabricate de interior și unde se confecționează ele?
2. Ce întreprinderi din țara noastră produc celule prefabricate de interior?
3. Ce variante de celule prefabricate de interior se fabrică în țara noastră?

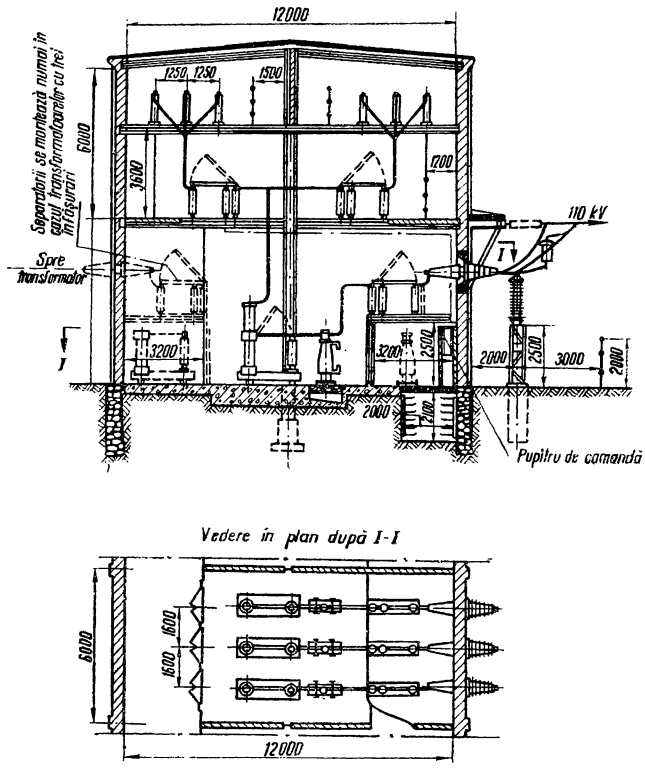


Fig. 18—52. Stație de distribuție de 110 kV.

Stațiile interioare de 35—110 kV. Stațiile de 35—110 kV sînt echipate cu întrerupătoare cu aer comprimat sau cu ulei puțin și sînt asemănătoare cu instalațiile de 6—15 kV.

În figura 18—52 este reprezentată o stație tip hală de 110 kV, cu bare duble și întrerupătoare cu aer comprimat. Clădirea nu are planșee de beton armat, echipamentul fiind instalat la diferite nivele pe grinzi de oțel.

La nivelul superior sînt situate barele colectoare fixate pe izolatoare-suport montate pe grinzi de oțel. Cele două sisteme de bare sînt despărțite printr-un perete de beton armat. Pentru revizia barelor sînt prevăzute rampe cu balustradă situate la 1,5 m distanță de părțile sub tensiune.

La nivelul mijlociu se găsesc separatoarele de bare montate pe grinzi de oțel. Revizia separatoarelor se face de pe balustrade așezate lateral pe pereții încăperii.

La nivelul inferior, pe podeaua încăperii, sînt montate întrerupătoarele și reductoarele de curent, despărțite prin pereți transversali de azbociment.

În părțile laterale ale încăperii, de la nivelul parterului, se găsesc culoare pentru deservirea instalației. Deasupra acestora sînt instalate separatoarele liniilor de plecare (în partea dreaptă) și separatoarele liniilor de alimentare de la stația de transformare (în partea stîngă).

În culoarul din partea dreaptă este montat un pupitru de comandă locală a separatoarelor și întrerupătoarelor. Sub acest culoar se află canalul cu cablurile de control. Pereții exteriori ai clădirii stației sînt de cărămidă, iar acoperișul de beton armat. Acoperișul este susținut de montanți de oțel.

Aparatele sînt amplasate în instalație astfel ca să rezulte distanțe suficiente între ele, care dau posibilitatea de a fi ușor revizuite și reparate.

Izolatoarele de ieșire ale liniilor sînt fixate în perete la o înălțime de circa 5 m de la suprafața pămîntului. Este prevăzută posibilitatea de a scoate conductoarele liniilor aeriene și spre transformatoarele situate în ambele părți ale clădirii.

Construirea de instalații de distribuție cu camere de cărămizi sau de beton armat este legată de executarea de lucrări de construcție, care necesită manoperă multă, datorită ridicării, în interiorul clădirii instalației de distribuție, a unui mare număr de pereți și de despărțituri orizontale, de configurație complicată, cu deschideri, ușI, canale în podea etc.

În construcțiile de acest fel, lucrările electromecanice pentru instalarea aparatelor, a barelor și pentru executarea instalației electrice secundare sînt strîns legate de partea de construcție. Datorită acestui fapt, timpul necesar pentru construcția instalației de distribuție este lung, iar costul de execuție a lucrărilor este mare.

La toate acestea se mai adaugă și posibilitatea limitată de extindere a instalației.

Tendința actuală este aceea de a se separa lucrările de construcție de cele electromecanice. Instalațiile electromecanice se confecționează în fabricile de aparataj, executîndu-se, pe cît posibil, toate legăturile dintre echipamente. Instalațiile astfel asamblate și încercate se transportă la locul de destinație și se instalează în încăperea pregătită pentru ele.

Rămîne să se execute numai legăturile cablelor de la generatoare și transformatoare, precum și cablele rețelei, după care instalația de distribuție poate fi dată în exploatare.

Astfel de instalații de distribuție au primit denumirea de instalații de distribuție capsulate.

Stațiile interioare cu tensiuni peste 35 kV nu s-au extins prea mult. Considerentele de ordin tehnico-economic au condus la găsirea unei soluții mai economice, care constă în construcția stațiilor exterioare.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele elemente care alcătuiesc o stație electrică interioară de 35—110 kV și cum sînt ele distribuite pe diferitele etaje ale clădirii?
2. Care sînt tendințele actuale în lucrările de construcție a stațiilor?
3. Ce sînt instalațiile de distribuție capsulate?

STAȚIILE EXTERIOARE

Prin executarea stațiilor exterioare se reduce foarte mult volumul construcțiilor acoperite. În schimb, aparatele care se montează în aceste stații sînt ceva mai scumpe, ele fiind de construcție specială și cu izolație întărită. Calculele tehnico-economice arată că stațiile exterioare devin recomandabile în cazul tensiunilor de la 35 kV în sus.

La avantajele economice constînd din reducerea construcțiilor acoperite se adaugă și alte avantaje, cum sînt: reducerea timpului de execuție, reducerea pericolului de extindere a avariilor, prin mărirea distanțelor între circuitele învecinate, posibilitatea de înlocuire ușoară a echipamentelor defecte etc.

Totuși instalațiile exterioare prezintă și dezavantaje, care constau din posibilitățile de defectare a echipamentului, care în aer liber lucrează în condiții mai grele și din greutățile în deservirea instalației, care trebuie să fie făcută pe orice vreme și în aer liber.

Instalațiile stațiilor exterioare se pot împărți în două categorii, în funcție de înălțimea de amplasare a echipamentului: instalații joase și instalații înalte.

La instalațiile joase, aparatele se află într-un plan orizontal și sînt montate pe fundații de înălțime redusă. Deservirea instalației se face ușor, în schimb stația ocupă o suprafață mare.

La instalațiile înalte aparatele sînt dispuse în mai multe planuri orizontale suprapuse. Suprafața ocupată este mai mică, însă condițiile pentru revizia și reparația aparatelor devin mai dificile.

Tendința actuală este de a se utiliza instalațiile joase. Barele colectoare ale acestora sînt formate din conductoare funie, suspendate de cadrele stației prin intermediul izolatoarelor de suspensie.

Cadrele stației sînt elementele cu ajutorul cărora se montează barele generale. Un cadru de stație este format din doi stîlpi montați pe fundații, ale căror capete rămase în exterior sînt unite printr-o grindă numită riglă.

Ca materiale pentru cadre și rigle se pot folosi lemnul, betonul armat sau construcțiile cu zăbrele de oțel laminat.

Lemnul se folosește pentru construcția stațiilor provizorii sau de importanță secundară.

Oțelul este un material deficitar și trebuie întreținut periodic prin revopsire, pentru a-l feri de ruginire.

Betonul armat este cel mai mult întrebuințat, fiind rezistent și ieftin, însă prezintă dezavantajul că are greutate mare, care implică dificultăți de montaj și de transport.

Ca și la instalațiile interioare, se impun anumite distanțe de gabarit.

În tabela 18—2 se dau distanțele dintre elementele sub tensiune și alte părți ale instalației, conform PET.

Elementele stațiilor care în mod normal sînt sub tensiune trebuie să fie împrejmuite dacă înălțimea lor deasupra solului este mai mică decît 3 m, la instalațiile cu tensiuni pînă la 35 kV inclusiv, 3,75 m la tensiunile de 35—110 kV inclusiv și 4,50 m la tensiunea de 220 kV.

Transformatoarele și celelalte aparate care au marginea inferioară a porțelanului izolatoarelor situată la o înălțime mai mică decît 2,5 m deasupra solului, trebuie împrejmuite pînă la cel puțin, 1,7 m înălțime.

Comanda separatoarelor se face de la dispozitivele de acționare fixate pe suporții acestora. Dispozitivele de acționare acționate de la distanță se montează pe socluri de beton, lîngă suporții separatoarelor.

Terenul stației de distribuție trebuie să fie plan și îngrădit.

În figura 18—53 este reprezentată, în secțiune și în plan, o instalație de distribuție de tip exterior, de 35 kV, cu sistem dublu de bare. Secțiunea și reprezentarea în plan este efectuată pentru celula transformatorului de putere.

Transformatorul de putere *7* se conectează, prin întrerupătorul cu ulei *5*, prin barele *3* și prin separatoarele *2*, la sistemul de bare. Transformatoarele

Tabela 18—2

Distanța dintre împrejmuirile fixe și părțile sub tensiune, în instalații de distribuție de tip exterior, în cm

Felul împrejmuirii	*Pentru tensiuni, în kV*						
	10 kV și mai puțin	15	25	35	60	110	220
Bariere	100	100	100	100	125	175	250
Împrejmuiri din plase	20	25	35	40	60	100	200

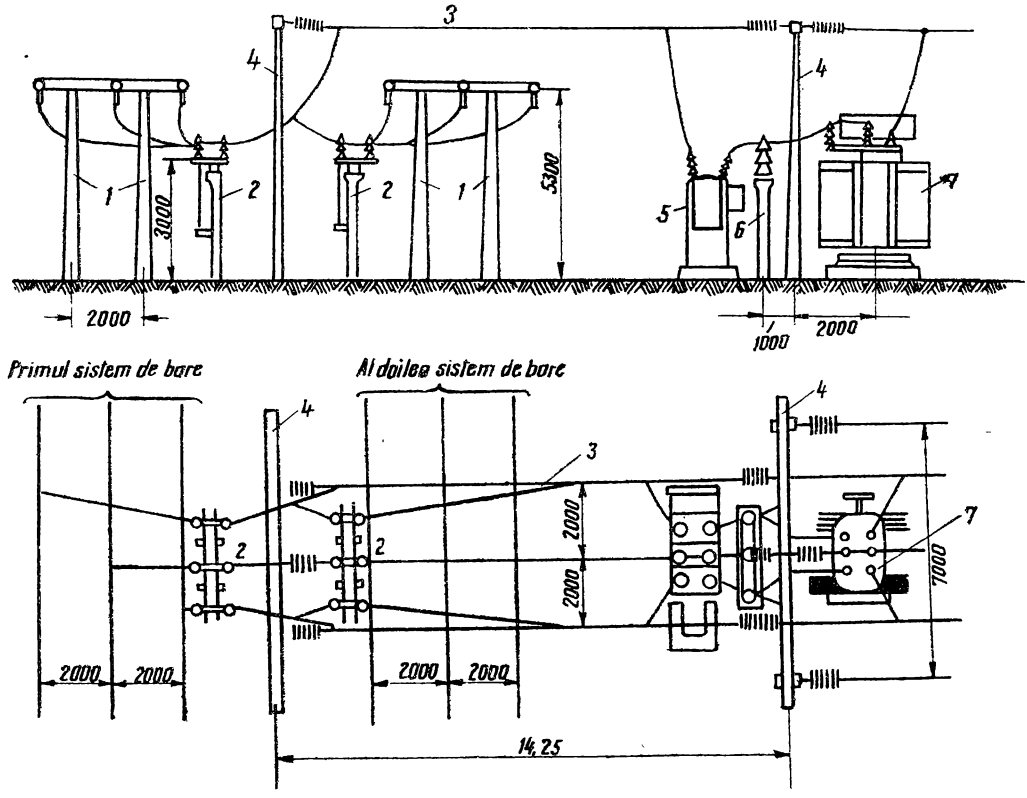


Fig. 18—53. Instalație exterioară de distribuție de 35 kV, cu sistem dublu de bare.

de curent se află integrate în întrerupător, ele însă pot fi instalate și în exterior *6*, pe construcții situate între întrerupătorul cu ulei și transformatorul de putere. Barele sînt susținute de suporții *1* și *4*.

În figurile 18—54 și 18—55 sînt reprezentate schema monofilară și secțiunea transversală printr-o stație cu trei tensiuni (110, 35 și 15 kV), iar în figura 18—56 vederea în plan a unei stații de 110/15/6 kV.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele avantaje pe care le prezintă stațiile exterioare?
2. Pentru ce tensiuni sînt justificate din punct de vedere economic construcțiile de stații exterioare?
3. Ce sînt cadrele unei stații exterioare și din ce se execută ele?
4. Pentru care din elementele stațiilor exterioare se impune împrejmuirea de protecție?

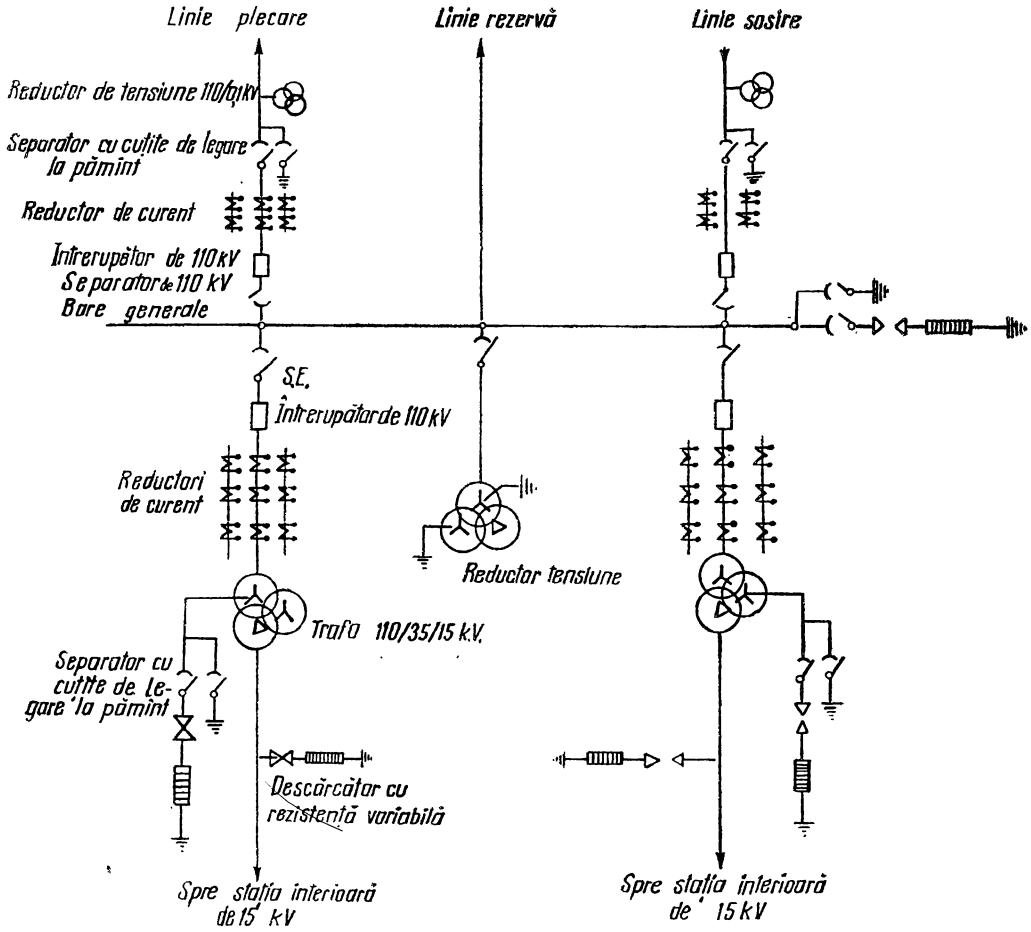


Fig. 18—54. Schema monofilară a unei stații exterioare de 110/35/15 kV.

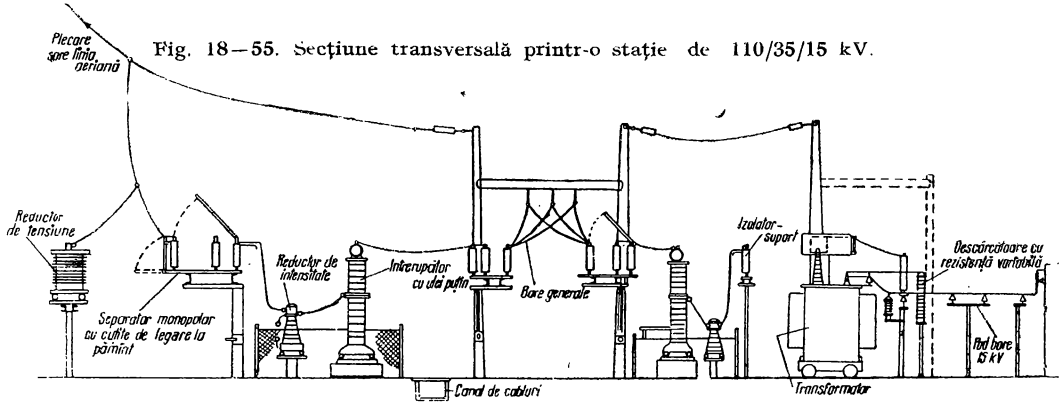
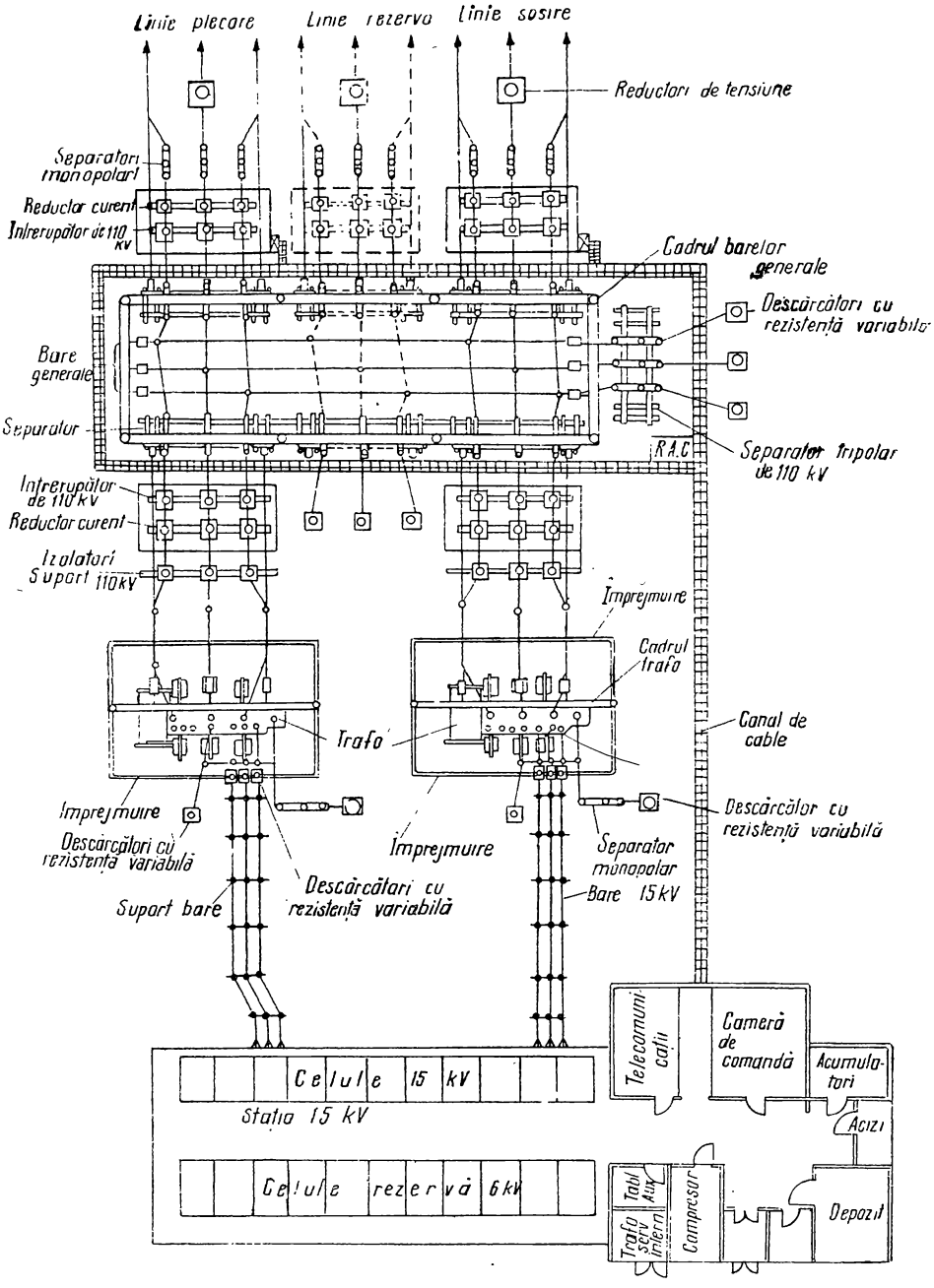


Fig. 18—55. Secțiune transversală printr-o stație de 110/35/15 kV.

Fig. 18—56. Vedere în plan a unei stații de 110/15/6 kV.



CELULE PREFABRICATE PENTRU EXTERIOR

Costul ridicat al construcțiilor zidite pentru stațiile de transformare, precum și reducerea timpului de execuție a acestor stații a condus la găsirea unei soluții economice și ușor de realizat prin folosirea celulelor prefabricate în cabine metalice pentru exterior tip TEM.

Aceste celule construite din oțel cornier și tablă se fabrică pentru următoarele tensiuni și puteri : 6 KV, 1 000 A—200 MVA ; 10 KV, 600 A—350 MVA ; 15 KV, 400 A—350 MVA.

Celulele se pot echipa cu un singur sistem de bare sau cu sistem dublu de bare colectoare, cu întrerupătoare de 10 KV sau de 15 KV.

Pentru alimentarea instalației de protecție și semnalizare se poate folosi curent continuu la tensiunea de 24 V furnizat de baterii de acumulatoare sau de curent alternativ.

Aceste celule se montează în stații exterioare pe fundații din beton și se execută în trei variante constructive : celule de exterior fără culoar ; celule de exterior cu culoar lateral ; celule de exterior cu culoar central.

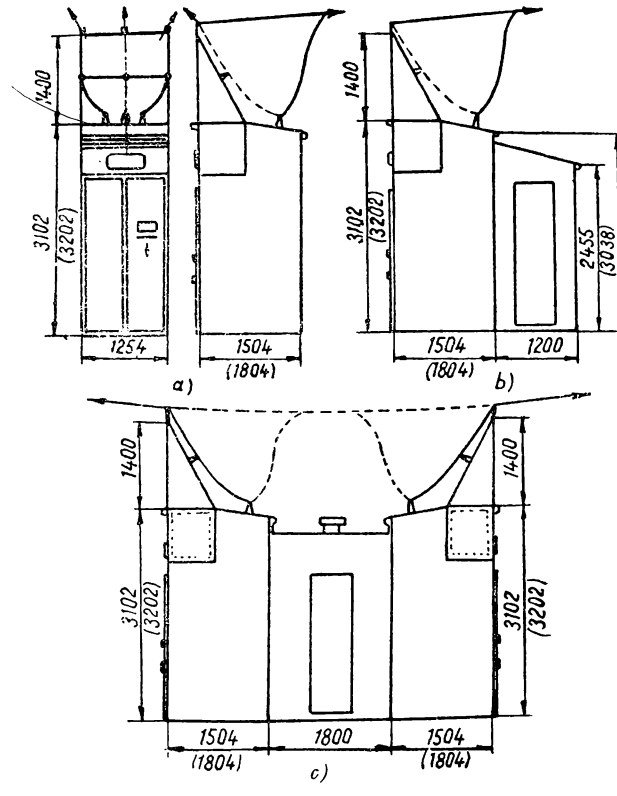


Fig. 18—57. Celule prefabricate de exterior tip TEM : *a* — fără culoar lateral ; *b* — cu culoar lateral ; *c* — cu culoar central.

Celulele de exterior cu culoare se folosesc cînd stația este prevăzută cu personal permanent de exploatare.

În figura 18—57 sînt reprezentate cele trei variante constructive (cotele din paranteze corespund celulelor de 15 kV, iar celelalte celor de 6—10 KV).

Liniile de plecare din celule pot fi aeriene sau în cablu.

Dacă plecarea se face prin linie aeriană celulele sînt prevăzute cu un cadru metalic montat deasupra cabinei care susține izolatoarele.

Deoarece stațiile electrice de tip exterior construite cu astfel de cabine nu posedă cameră de comandă, aparatajul de comutație secundară pentru protecție, măsură și semnalizare se montează într-un mic dulap de aparate din fața celulei sau chiar în celulă. Acest dulap se amplasează deasupra dispozitivelor de acționare a întrerupătorului sau separatoarelor și este accesibil după deschiderea ușii celulei.

Pe fața ușii cabinei se găsește reprezentată schema oarbă a circuitelor primare ale celulei.

Ca și la celulele de tip interior deosebim și aici celule de linii, celule de transformator, celule de măsură, celule de cuplă și celule de servicii interne.

În figura 18—58 este reprezentată vederea din față a unei celule de transformator sau linie cu plecare aeriană.

Dispoziția aparatajului de comutație primară în celulă este asemănătoare cu aceea pentru celulele TEM pentru instalații interioare.

Racordarea celulei la linie se face direct de pe izolatoarele montate în vîrful cadrului *1*.

Trecerea conductoarelor în celulă se face prin izolatoarele de trecere *2*. Prin separator se ajunge la reductorul de intensitate *3*, apoi la întrerupătorul *4* acționat din fața celulei cu ajutorul dispozitivului de acționare cu greutate *5*. În continuare, de la întrerupător circuitul continuă prin separatorul de bare *6* la barele generale RST ale stației.

În cutia *7* sînt amplasate aparatele de măsură protecției și semnalizare, montată deasupra dispozitivelor de acționare *5* și *8*.

În figura 18—59 s-a reprezentat o secțiune printr-o celulă de măsură și descărcătoare de 6—10 kV și vederea din fața celulei.

Cîteva scheme ale circuitelor primare pentru celulele de exterior sînt reprezentate în figura 18—60.

După montarea lor, celulele se leagă la centura de punere la pămînt a stației printr-un bulon special galvanizat.

Ușile din spatele cabinei sînt blocate pentru poziția închis a separatoarelor prin broască electromagnetică. De asemenea, separatoarele sînt blocate prin sistem mecanic de blocaj în raport cu poziția întrerupătorului.

Pagină lipsă 319

Pagină lipsă 320

Cabinele se construiesc etanșe pentru a împiedica pătrunderea prafului și a apei. Ele sînt iluminate cu două lămpi cu incandescență, iar pentru încălzitul cabinei pe timp de iarnă sînt prevăzute rezistențe de încălzire dispuse de așa manieră, încît să încălzească în special aparate ca : relee, aparate de măsurat etc.

Defectele din instalație sînt semnalizate acustic prin sonerie sau hupă și optic prin casete luminoase montate pe ușile din fața cabinelor.

Întrebări recapitulative

1. Ce variante constructive de celule prefabricate de exterior se execută în țara noastră ?
2. Unde se amplasează dulapul de aparate ale celulelor prefabricate pentru exterior și ce conțin ele ?
3. Ce măsuri constructive se iau pentru evitarea unor accidente sau avarii în celulele prefabricate de exterior ?

Capitolul XIX

SCHEME DE CONEXIUNI ȘI POSTURI DE TRANSFORMARE

SCHEMELE STAȚIILOR RIDICĂTOARE, CU BARE SECȚIONATE

Rolul stației electrice este de a asigura, atît în exploatarea normală, cît și în regim de avarii, distribuția energiei necesare consumatorilor și de a reduce la minimum perturbațiile care se pot produce în instalațiile electrice.

Schema de conexiuni a stației trebuie să fie simplă, satisfăcînd condițiile impuse, și să prezinte posibilitatea unei exploatări cît mai ușoare, ținînd seama și de dezvoltarea viitoare a rețelei.

Energia produsă de centralele electrice trebuie transmisă în rețeaua de înaltă tensiune a sistemului electric, transportată de la producător la consumatorul de energie prin linii de înaltă tensiune.

Pentru aceasta, tensiunea trebuie ridicată cu ajutorul transformatoarelor. Acestea se montează în stațiile aparținînd centralelor electrice respective. Puterea lor se alege în funcție de puterea centralei electrice.

Uneori stația electrică se găsește în apropierea consumatorilor. În aceste cazuri, energia electrică se debitează la tensiunea rezultată de la generatoare, fără transformări.

Cea mai simplă schemă de stație ridicătoare este prezentată în figura 19—1.

Două generatoare G_1 și G_2 debitează, pe două secții de bare, secția *1* și secția *2*, legate între ele printr-un întrerupător și două separatoare de cuplă longitudinală. Transformatorul este legat prin întrerupătorul I_1 și separatorul S_1 la barele secției *1*, iar prin întrerupătorul I_2 și separatorul S_2 la linia de înaltă tensiune L_1, care alimentează stația sistemului. Linia L_1 poate fi legată la pământ, în caz de reparații, prin cuțitele de legare la pământ Sp ale separatoarelor S_2 și S_3. La barele secțiilor se racordează și alte linii de plecare, figurate în schemă.

Schema prezintă o serie de dezavantaje în exploatare. La repararea sau defectarea secției *1* de bare se scot din funcțiune cele două căi de alimentare

Fig. 19—1. Schema unei stații ridicătoare cu bare secționate și transformator pe una din secții.

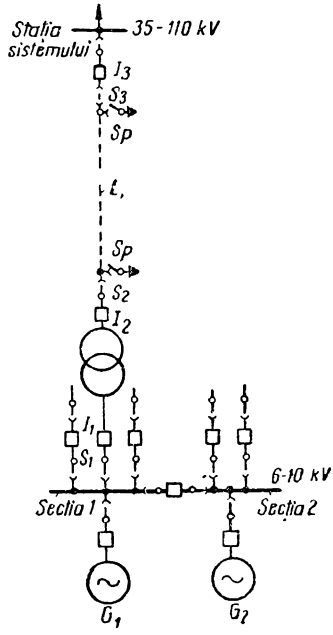
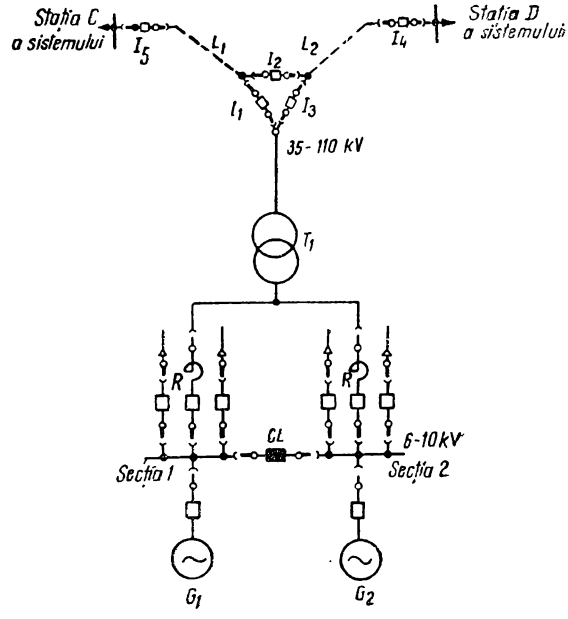


Fig. 19—2. Schema unei stații ridicătoare cu bare secționate și transformator pe ambele secții.



ale sistemului : transformatorul şi generatorul G_1. Generatorul G_2 nu mai are cum să alimenteze transformatorul, barele secţiei *1* devenind indisponibile. Legătura centralei cu staţia sistemului nu este sigură. Orice element dintre secţia *1* de bare şi staţia sistemului s-ar defecta, consumatorii de energie nu mai pot fi alimentaţi.

Schema din figura 19—2 elimină aceste dezavantaje.

Transformatorul T_1 este alimentat de la două secţii de bare, astfel încît atunci cînd una dintre secţii devine indisponibilă (reparaţie sau defectare), transformatorul se poate alimenta din cealaltă secţie de bare. Legătura cu sistemul (respectiv cu staţiile *C* şi *D*) se face prin două linii L_1 şi L_2. Repararea unuia din întrerupătoarele I_1, I_2 şi I_3 nu necesită scoaterea din funcţiune a liniilor.

Între cele două secţii, ca şi la schema precedentă, este montată o cuplă longitudinală *CL*. La funcţionare normală cupla rămîne deschisă, generatoarele G_1 şi G_2 alimentînd transformatorul prin puntea de ocolire în care s-au montat două reactoare *R* pentru limitarea curenţilor de scurtcircuit.

Dacă din diferite motive unul din generatoare se scoate din funcţiune, se închide cupla şi secţiile barelor sînt alimentate de la acelaşi generator.

Schema prezintă siguranţă în exploatare, dar necesită un număr sporit de întrerupătoare.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiţii trebuie să îndeplinească o schemă de conexiune ?
2. Ce se înţelege prin schemă cu bare secţionate şi ce avantaje prezintă asemenea scheme ?
3. Ce este aceea o *cuplă* şi ce rol îndeplineşte ea ?

SCHEMELE STAŢIILOR RIDICĂTOARE CU BARE DUBLE SECŢIONATE ŞI CU SCHEMĂ-BLOC

O mărire a siguranţei în exploatare se obţine prin realizarea staţiilor cu sisteme duble de bare, ca în figura 19—3.

Sistemul *1* de bare este secţionat prin cupla longitudinală *CL* în două secţii. Între barele generale sînt montate şi două cuple transversale CT_1 şi CT_2. Transformatorul T_1 se alimentează de pe ambele sisteme de bare printr-un reactor divizat, care înlocuieşte cele două reactoare din schema precedentă.

În această schemă, chiar dacă unul din sistemele de bare se defectează sau intră în reparație, alimentarea transformatorului este posibilă de pe al doilea sistem de bare.

Nici generatoarele și nici transformatorul nu devin indisponibile. Soluțiile cu două sisteme de bare dau o siguranță mult mai mare în exploatare.

Cînd este necesar să se execute un transfer mare de energie între centrala electrică și sistemul energetic, se recurge la montarea unui număr mai mare de transformatoare. Cînd consumatorul este foarte important, pentru siguranța alimentării lui cu energie se recurge la montarea a două linii de alimentare și a transformatoarelor respective. În acest caz, barele colectoare pe partea de înaltă tensiune sînt eliminate, legătura transformatoarelor cu sistemul făcîndu-se în mod direct. Se obține așa-numitele scheme-bloc. O astfel de schemă este reprezentată în figura 19—4.

Schema-bloc se realizează cu un număr minim de aparate, dar nu este sigură în exploatare. O defectare a elementelor liniei electrice sau a aparatelor din schemă duce la scoaterea din funcțiune a întregului bloc. De aceea se recurge la îmbunătățirea acestei scheme prin montarea unei legături suplimentare în punctele *a-b*, ca în figura 19—5, obținîndu-se schema în punte.

Fig. 19—3. Schema unei stații ridicătoare cu bare duble, avînd un sistem de bare secționate.

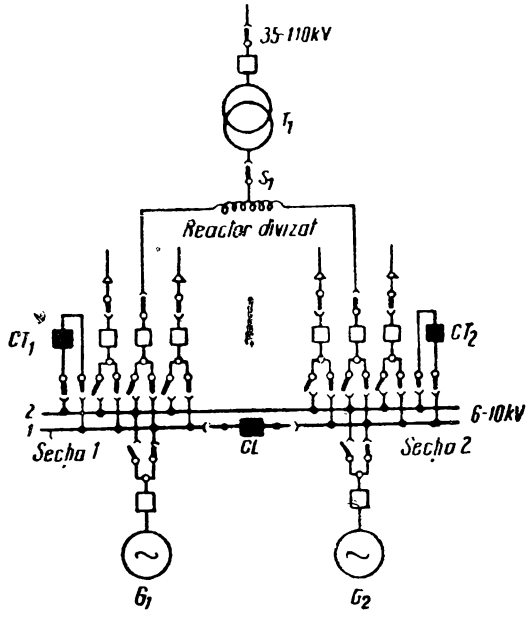
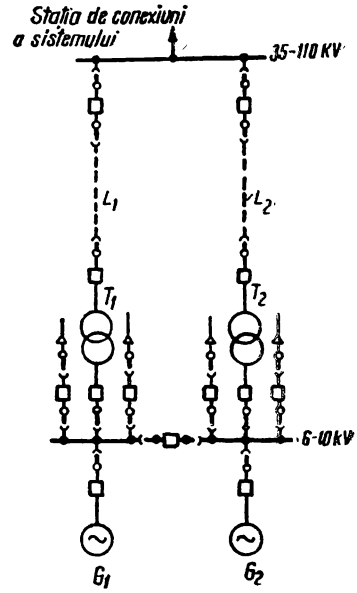
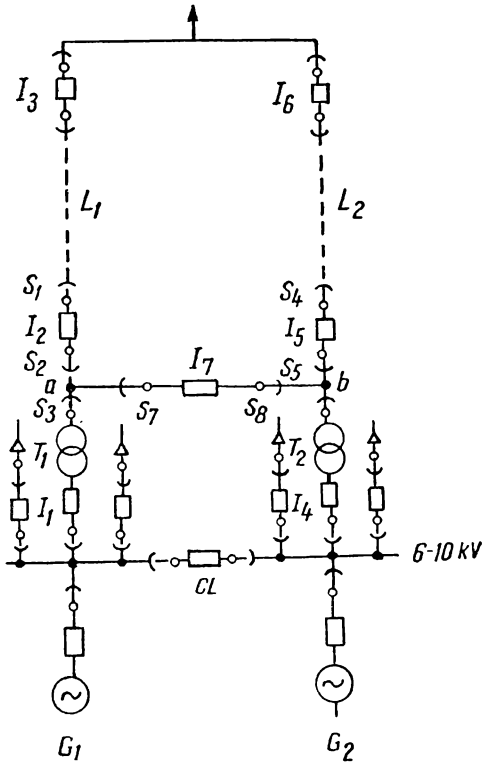


Fig. 19—4. Stație ridicătoare cu schemă-bloc.





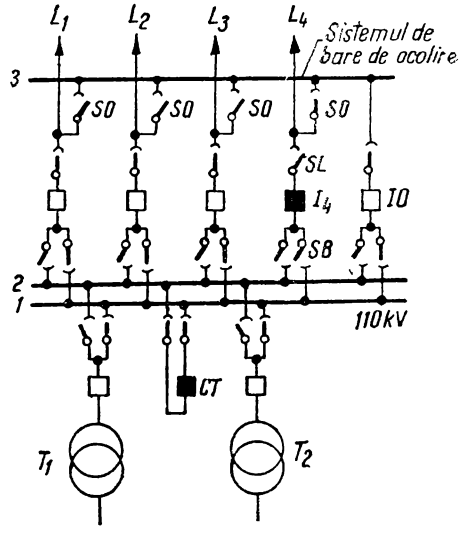


Fig. 19—6. Schema unei staţii cu sistem de bare de ocolire.

Fig. 19—5. Schema în punte a unei staţii ridicătoare.

Schema în punte, numită şi schemă H, prezintă avantajul că la deconectarea unei linii, de exemplu L_1, ambele transformatoare rămîn în funcţiune. Transformatorul T_1 debitează prin intermediul punţii formată cu I_7 şi S_5 între punctele *a* şi *b* pe linia L_2, care, dacă este corespunzător dimensionată, poate prelua şi puterea dată de acest transformator. Schema în punte are dezavantajul că la defectarea unui transformator, de exemplu T_1, linia L_1 este scoasă din funcţiune. În acest caz, trebuie ca separatorul S_3 să se deschidă şi întrerupătoarele I_7 şi I_2 să se închidă. Transformatorul T_2 va alimenta în acest fel şi linia L_1.

Întrebări recapitulative

1. Cîte feluri de cuple pentru bare se cunosc şi în ce constă deosebirea dintre ele?
2. Care sînt avantajele şi dezavantajele pe care le prezintă schemele-bloc şi în punte?

SCHEMELE STAȚIILOR RIDICĂTOARE CU BARE DE OCOLIRE ȘI CU DOUĂ TENSIUNI SECUNDARE

Alimentarea consumatorilor importanți trebuie făcută fără întreruperi. În exploatare se pune în mod curent problema reviziilor și reparării aparatelor de comutare, mai ales a întrerupătoarelor. Prin demontarea acestora ar însemna să se întrerupă parțial livrarea de energie electrică. Pentru a nu se întîmpla aceasta se folosesc scheme care permit livrarea de energie fără întrerupere.

În figura 19—6 este reprezentată o astfel de schemă.

La funcționarea normală, întrerupătorul de ocolire *SO* și separatoarele de ocolire *SO* sînt deschise. Scoaterea în reparație sau revizie a întrerupătorului I_4, de exemplu, se face fără întreruperea liniei L_4, în felul următor : se închid *IO* și *SO* ale liniei L_4 și se deschide întrerupătorul I_4 și separatoarele *SL* și *SB*.

Barele de ocolire și aparatele montate suplimentar scumpesc instalația, dar oferă o mare ușurință și elasticitate în exploatare. Ele se folosesc la stațiile cu tensiunea de 110 kV și mai mare.

Pentru alimentarea consumatorilor apropiați de centrală tensiunile pot fi de 15—35 kV, iar pentru alimentarea consumatorilor îndepărtați, de 110 kV sau mai înalte.

În figura 19—7 este dată schema de principiu a unei stații ridicătoare cu două tensiuni înalte.

Cele două tensiuni se obțin de la transformatoare separate pentru fiecare tensiune.

Dacă puterea debitată pe una din tensiunile înalte este de cel puțin 15% din puterea debitată pe cealaltă tensiune înaltă, este recomandabil să se utilizeze transformatoare cu trei înfășurări (bobinaje).

În figura 19—8 este reprezentată schema unei centrale care debitează energie la două tensiuni înalte, utilizîndu-se două transformatoare cu trei înfășurări.

Întrerupătoarele *SI* permit alimentarea serviciilor interne de la sistem cînd generatoarele G_1 sau G_2 nu sînt în funcțiune.

Caracteristic acestei scheme este lipsa barelor la tensiunea generatoarelor, adică este realizată o schemă-bloc generator-transformator. Acest lucru este posibil, deoarece aproape întreaga energie urmează să se transporte prin linii de înaltă tensiune către consumator.

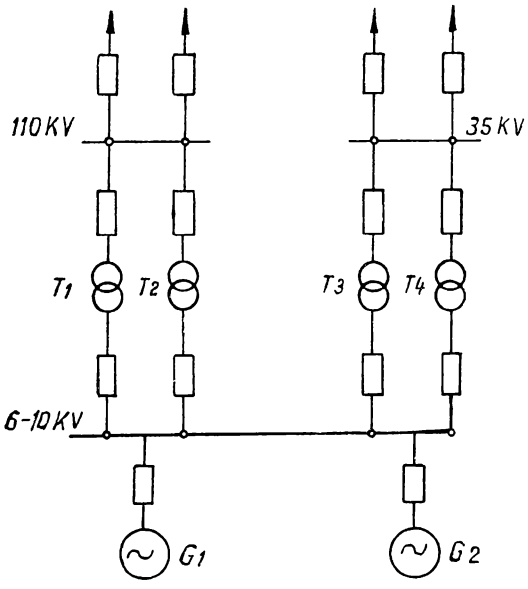


Fig. 19—7. Schema de principiu a unei staţii ridicătoare cu două tensiuni înalte.

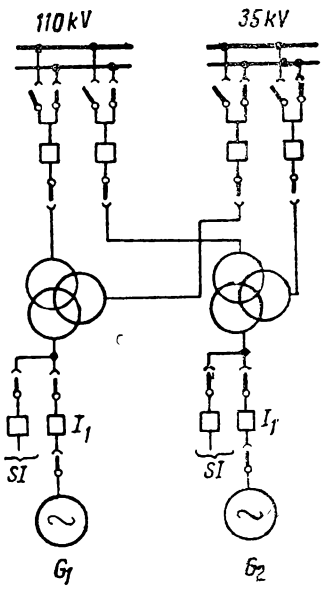


Fig. 19—8. Schema unei staţii ridicătoare cu două tensiuni secundare.

Varietatea schemelor staţiilor electrice de pe lîngă centrale este mare. Proiectantul stabileşte însă schema de conexiuni avînd în vedere satisfacerea tuturor cerinţelor impuse.

Întrebări recapitulative

1. Ce se înţelege prin schemă cu sistem de bare de ocolire şi unde se folosesc asemenea scheme?
2. Care sînt avantajele şi dezavantajele pe care le prezintă schemele cu bare de ocolire?

SCHEMELE STAŢIILOR COBORÎTOARE. SCHEMELE STAŢIILOR RAIONALE

În staţiile coborîtoare tensiunea primară a liniei de alimentare se transformă în tensiune secundară, mai joasă, la care energia electrică este distribuită consumatorilor conectaţi la staţia respectivă.

În funcție de importanța lor, stațiile electrice coborîtoare se împart în două grupe principale : stații de importanță raională și stații de importanță locală.

Stațiile de importanță raională sînt alimentate din sistemul energetic național cu tensiunea de 110 sau 220 kV și o coboară la 110, 35, 15, 10 sau 6 kV.

Stațiile de importanță locală sînt alimentate prin liniile care pornesc din stațiile raionale.

Stațiile locale de mare putere deservesc orașele, marii consumatori industriali, raioanele agricole etc. și au ca tensiuni primare 35 sau 110 kV, iar ca tensiuni secundare 6, 10 sau 15 kV.

Stațiile locale de mică putere (posturile de transformare) deservesc consumatorii urbani și agricoli și sînt alimentate cu tensiunea de 6,10,15 sau 35 kV, tensiunea secundară fiind de 380/220 V.

Numărul transformatoarelor din stații și puterea lor se alege pe baza calculelor tehnico-economice, în funcție de puterea și de importanța consumatorilor.

Stațiile raionale sînt alimentate întodeauna prin mai multe linii, pentru a exista o rezervă în alimentare. Din aceleași motive se utilizează cîte două transformatoare care pot funcționa în paralel, separat sau numai unul din ele, al doilea fiind transformator de rezervă.

Cînd se utilizează un singur transformator, la cerințe mai mari din partea consumatorilor, se poate face uz de supraîncărcarea acestuia în limita datelor furnizate de fabrica constructoare.

În figura 19—9 este reprezentată schema unei stații raionale cu tensiunea primară de 110 kV și tensiunea secundară de 6—10 kV.

Pe partea secundară sînt două sisteme de bare dintre care unul (sistemul *I*) este secționat prin cupla longitudinală *CL*, formată dintr-un întrerupător și două separatoare. Cupla se închide cînd se urmărește funcționarea în paralel a celor două transformatoare.

Funcționarea în paralel prezintă dezavantajul majorării curenților de scurtcircuit (ca urmare a scăderii reactanțelor de scurtcircuit), de aceea pe plecări se montează reactoare pentru limitarea curenților de scurtcircuit. Funcționarea separată a transformatoarelor micșorează curenții de scurtcircuit și nu necesită reactoare, în schimb, în cazul unei avarii, consumatorii pot rămîne fără alimentare.

În figura 19—10 este reprezentată schema unei stații raionale cu două transformatoare cu trei înfășurări.

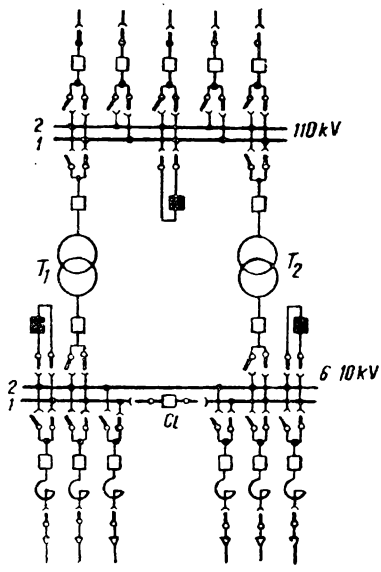


Fig. 19—9. Schema unei staţii coborîtoare raionale.

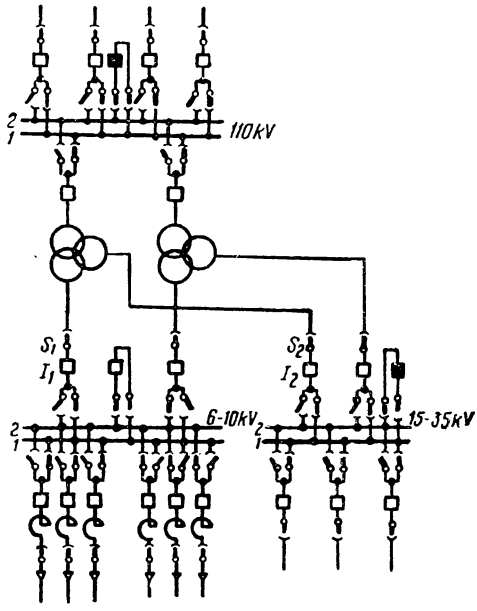


Fig. 19—10. Schema unei staţii coborîtoare raionale cu două tensiuni secundare.

La tensiunea de 6 sau 10 kV funcţionează în mod normal ambele sisteme de bare, cupla transversală fiind închisă. Separatoarele S_1 şi S_2 permit repararea pe rînd a întrerupătoarelor I_1 şi I_2, fără deconectarea totală a transformatorului.

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt staţiile electrice coborîtoare şi cum se clasifică ele?
2. Care sînt tensiunile primare şi secundare ale staţiilor raionale?
3. Ce deservesc staţiile locale?

SCHEMELE STAŢIILOR LOCALE DE MARE PUTERE ŞI ALE STAŢIILOR DE DISTRIBUŢIE ŞI CONEXIUNE

Staţiile de importanţă locală se construiesc cu unul, două sau trei transformatoare.

Două sau trei transformatoare se instalează în staţiile care alimentează consumatori importanţi şi care n-au alte surse de energie. Consumatorii mai puţin importanţi sînt alimentaţi din staţii cu cîte un singur transformator.

În figura 19—11 se dă schema unei stații locale cu două transformatoare cu punte pe partea de înaltă tensiune (Schemă H). Pe barele de 6—10 kV se găsește montat un întrerupător de cuplă longitudinală *CL*, care funcționează normal deschis. Dacă unul din transformatoare se defectează, întrerupătorul de cuplă se închide și întreaga sarcină a stației este preluată de transformatorul rămas în funcțiune.

În figura 19—12 este reprezentată schema unei stații alimentată la tensiunea primară de 35—110 kV și cu tensiunea secundară de 6—10 kV.

Întrerupătorul I_1 permite deconectarea liniei de alimentare în cazul unui deranjament. Întrerupătorul I_2 permite deconectarea și conectarea transformatorului în timpul exploatării sau scoate transformatorul din funcțiune în mod automat, la defectarea acestuia. Partea de joasă tensiune este prevăzută cu două sisteme de bare care permit repararea lor pe rînd.

Stațiile de distribuție și conexiune constituie noduri în care intră și din care ies mai multe linii electrice, fără a se face o modificare a parametrilor electrici ai circuitelor.

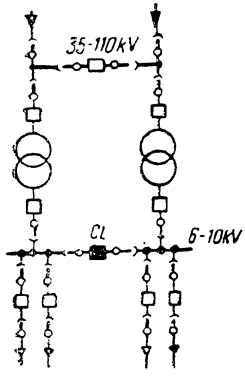


Fig. 19—11. Schema unei stații coborîtoare locale cu punte pe partea de înaltă tensiune.

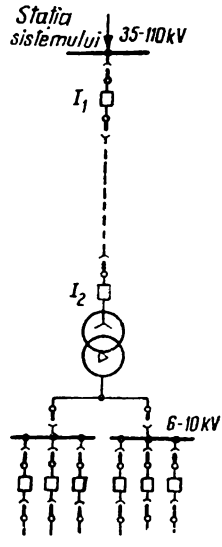


Fig. 19—12. Schema unei stații coborîtoare locale cu un transformator.

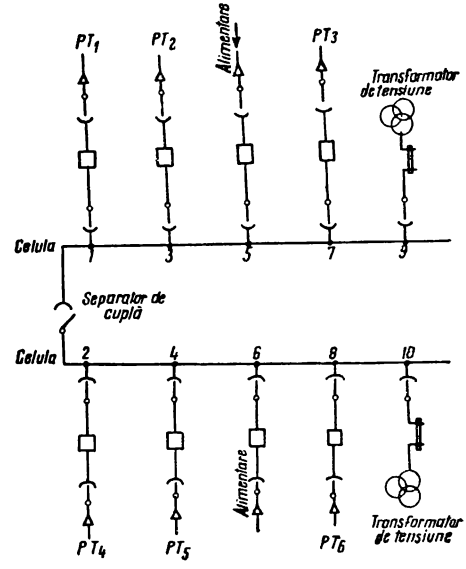


Fig. 19—13. Schema unei stații de distribuție și conexiune.

Uneori în aceeaşi staţie se produce şi transformarea tensiunii. Staţiile mari pot fi complexe, adică să facă transformarea energiei, distribuţia ei şi conectarea unor sisteme electrice deosebite.

În figura 19—13 este prezentată schema unei staţii de 6—15 kV. Instalaţia permite conectarea celor două linii de alimentare şi distribuirea energiei electrice la posturile PT_1 ... PT_6 care deservesc consumatorii. Transformatoarele de tensiune reduc tensiunea de pe bare în vederea măsurării ei. Transformatoarele de intensitate servesc la reducerea curenţilor de pe plecările şi sosirile liniilor în staţie şi alimentează protecţia prin relee şi aparatele de măsurat.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt metodele de mărire a siguranţei în exploatare a staţiilor coborîtoare?
2. Ce sînt staţiile de distribuţie şi conexiuni?

SCHEMELE POSTURILOR DE TRANSFORMARE

În aceste staţii se montează transformatoare cu puterea pînă la 1 000 kVA. În caz de defectare a transformatorului acesta se înlocuieşte cu un transformator din stocul de rezervă al întreprinderii.

În figura 19—14 este prezentată schema unui post de transformare fără întrerupător pe partea de înaltă tensiune.

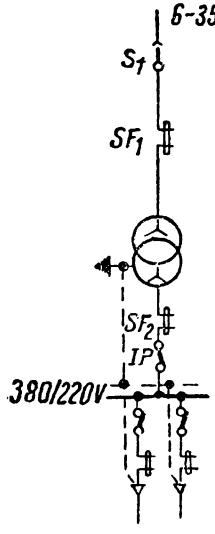


Fig. 19—14. Schema unui post de transformare fără întrerupător pe partea de înaltă tensiune.

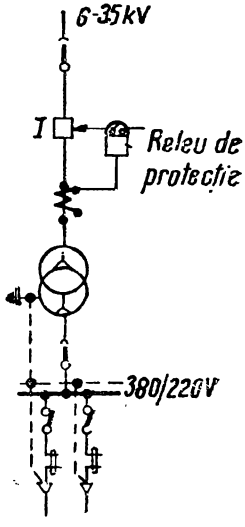


Fig. 19—15. Schema unui post de transformare cu întrerupător.

Racordarea postului de transformare la linia de alimentare se face cu ajutorul separatorului S_1. În circuit se mai găsește siguranța fuzibilă SF_1, iar pe partea de joasă tensiune siguranța SF_2.

Siguranța SF_1 servește la protecția transformatorului împotriva scurt-circuitelor, iar SF_2 protejează transformatorul împotriva suprasarcinilor. Întrerupătorul IP este de tipul cu pîrghie. Conectarea la rețea a transformatorului se face prin separatorul S_1, cînd întrerupătorul IP este deschis. Tipul de schemă descris se folosește pentru posturile cu transformatoare mici.

În figura 19—15 este reprezentată schema unui post de transformare echipat cu întrerupător. Protecția este realizată cu relee maximale de curent conectate la reductoarele de curent ale întrerupătorului. Declanșarea întrerupătorului poate fi comandată și de releul de gaze al transformatorului.

Posturile de transformare supraterane în cabină metalică de tip PTM (post de transformare metalic) se construiesc pe partea de înaltă tensiune după două scheme tip, la tensiuni de maximum 15 kV.

În figura 19—16 este reprezentată schema electrică a unui post de transformare varianta intrare-ieșire prin separator și protecția transformato-

Fig. 19—16. Schemă electrică a unui post de transformare cu întrerupător.

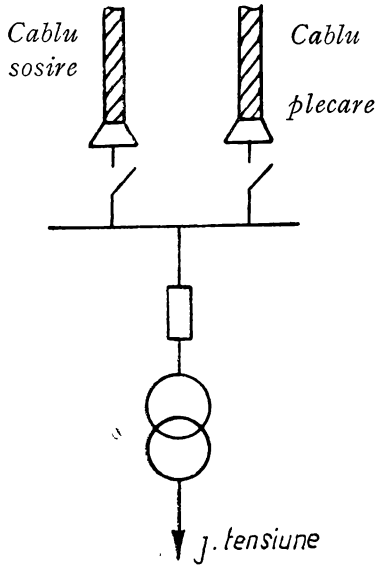
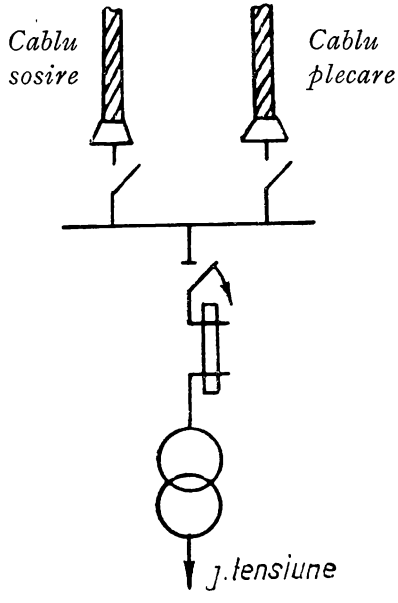


Fig. 19—17. Schema electrică a unui post de transformare cu separator de sarcină și siguranțe fuzibile.



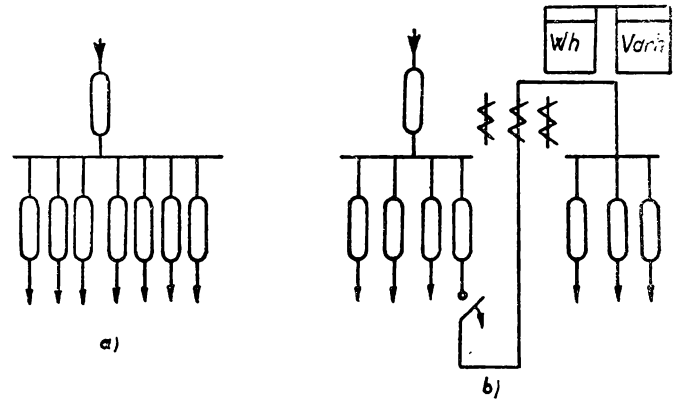


Fig. 19—18. Scheme electrice pentru partea de joasă tensiune a posturilor de transformare tip PTM:
a — tablou cu şapte plecări echipate cu siguranţe cu mîner fără automat de aprindere a iluminatului şi contoare; *b* — două tablouri cu trei direcţii cu automat de aprindere a iluminatului public şi contoare.

rului prin intermediul întrerupătorului de tip IUP 10, cu dispozitiv de acţionare şi protecţie în dispozitiv manual de închidere tip DMI 4.

În figura 19—17 este reprezentată schema electrică a unui post de transformare varianta intrare-ieşire prin separator şi protecţia transformatorului prin separator de sarcină şi siguranţe fuzibile.

Schemele în variantele intrare-ieşire, indiferent de modul în care se realizează protecţia transformatorului se folosesc în cazul cînd se dispune de reţea buclată, posturile fiind intercalate într-o astfel de reţea.

Partea de joasă tensiune se realizează în funcţie de numărul consumatorilor cu sau fără aparate de măsurare a energiei electrice.

În figura 19—18 sînt reprezentate două scheme pentru partea de joasă tensiune a posturilor tip PTM.

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt posturile de transformare şi pînă la ce putere se folosesc ele?
2. Ce se înţelege prin schema intrare-ieşire şi unde se folosesc ele?

CONSTRUCŢIA POSTURILOR DE TRANSFORMARE

În posturile de transformare, fiecare transformator se instalează în încă, pere separată. Camerele transformatoarelor se execută cu pardoseală-tavan şi pereţi neinflamabili şi trebuie să aibă uşi separate către exterior.

Ușile camerelor situate pe partea în care se instalează transformatoare cu o cantitate mai mare de 600 l de ulei, trebuie să aibă un prag de material neinflamabil, calculat pentru reținerea a 20% din cantitatea de ulei a transformatorului. Cînd camerele se găsesc la etaj, sub locul de așezare a transformatoarelor se construiesc canale colectoare de ulei, acoperite cu plasă de sîrmă și cu straturi de pietriș de 25 cm grosime.

Fiecare transformator se instalează în mijlocul încăperii respective, astfel încît pînă la pereți să rămînă 0,3—0,6 m, iar pînă la ușă 0,6—1 m.

Camerele transformatoarelor trebuie prevăzute cu sisteme de ventilație.

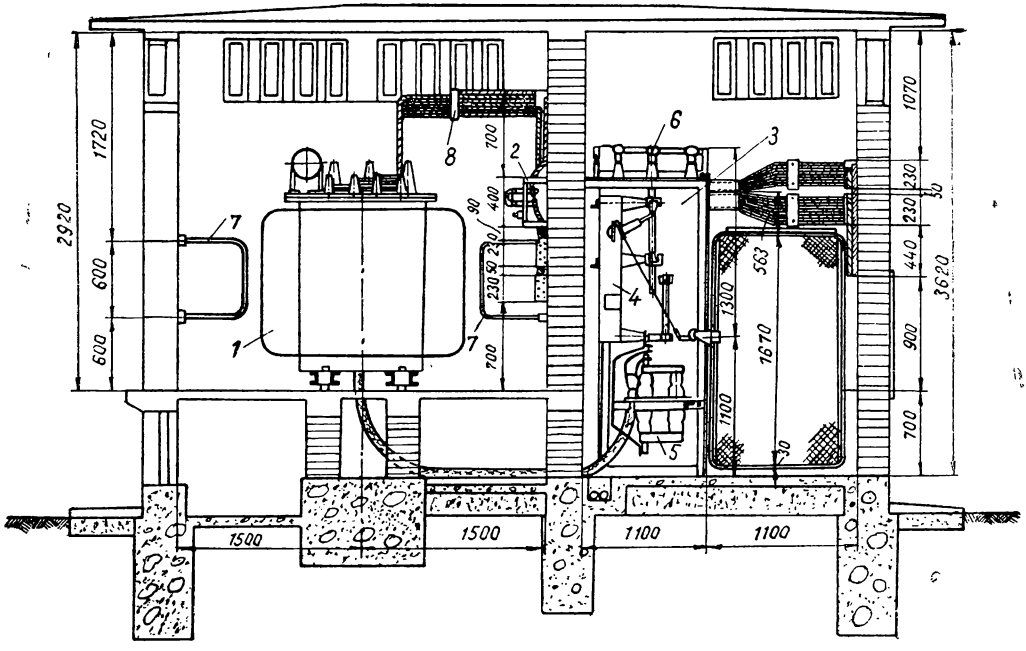
Orificiile de ventilație sînt acoperite cu plase de sîrmă, pentru a împiedica intrarea animalelor care pot provoca scurtcircuite în instalație.

În figura 19—19 este reprezentat un post de transformare cu transformatoare de 160—400 kVA 15/0,4 kV.

Camera transformatoarelor este despărțită de celulele de înaltă tensiune printr-un zid.

Fig. 19—19. Secțiune printr-un post de transformare 2 × (160—400)kVA 15/0,4 kV în clădire de zid :

1 — transformator; *2* — tablou de joasă tensiune; *3* — celulă de transformator; *4* — separator de sarcină tip SPTI; *5* — reductor de curent; *6* — bare generale; *7* — barieră de protecție; *8* — coloană de joasă tensiune.



Alimentarea barelor generale de 15 kV ale posturilor se face prin cabluri şi separatoare montate în celulele de linie *3—4*, conform schemei monofilare din figura 19—20.

Pe barele generale sînt legate transformatoarele prin intermediul separatoarelor de sarcină prevăzute cu fuzibile şi amplasate în celulele de transformator.

Partea de joasă tensiune a transformatoarelor se leagă prin siguranţe la barele tablourilor de joasă tensiune prevăzute cu contoare pentru măsurarea energiei.

Pe barele de joasă tensiune se găsesc reductorii de intensitate pentru măsurarea curenţilor şi alimentarea bobinelor de curent ale contoarelor.

Dezvoltarea într-un ritm rapid a construcţiilor de locuinţe şi necesitatea de alimentare a acestora cu energie electrică a impus găsirea unei soluţii rapide şi economice pentru construirea posturilor de transformare.

Soluţia s-a concretizat în construirea şi utilizarea posturilor prefabricate metalice de tip PTM.

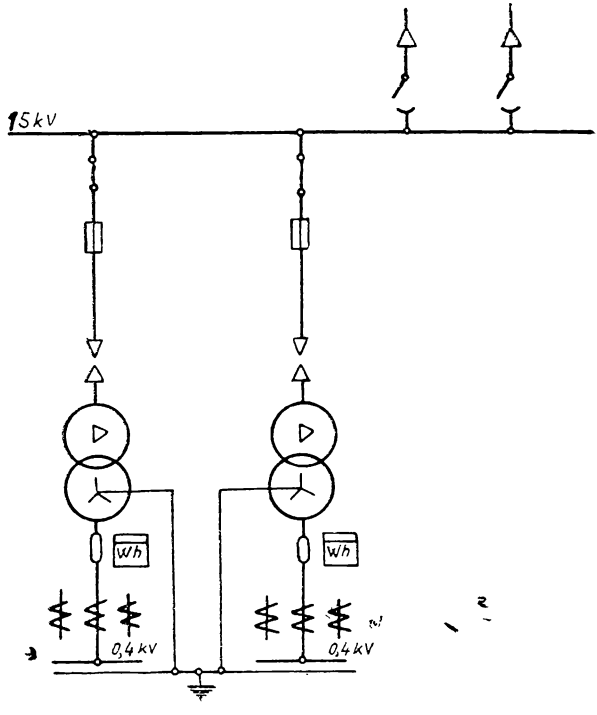


Fig. 19—20. Schema electrică monofilară a postului de transformare 2 × (160 — 400)kVA 15/0,4 kV.

Acestea se fabrică în întreprinderi de prefabricate gata echipate în varianta necesară și se montează la fața locului pe fundații turnate. Lucrările de montaj sînt simple și constau doar în montarea postului pe fundație și racordarea cablurilor de joasă și înaltă tensiune la acesta.

În figura 19—21 este reprezentată o secțiune longitudinală printr-un astfel de post.

Se observă dispoziția aparatajului de înaltă tensiune într-un astfel de post :

Transformatorul de putere *1* se amplasează în partea stîngă, sus, a cabinei metalice pe un cadru metalic de susținere.

În partea de jos, stînga, se amplasează tabloul de distribuție *2*, pe care se găsesc siguranțele cu mîner pentru fiecare plecare în cablu subteran *3*. Tabloul de siguranțe și transformatorul sînt separate printr-un perete metalic de celula de înaltă tensiune care se găsește în partea dreaptă a postului.

Legătura transformatorului cu întrerupătorul cu ulei puțin *4* se face prin intermediul reductorului de curent *5* de tip trecere.

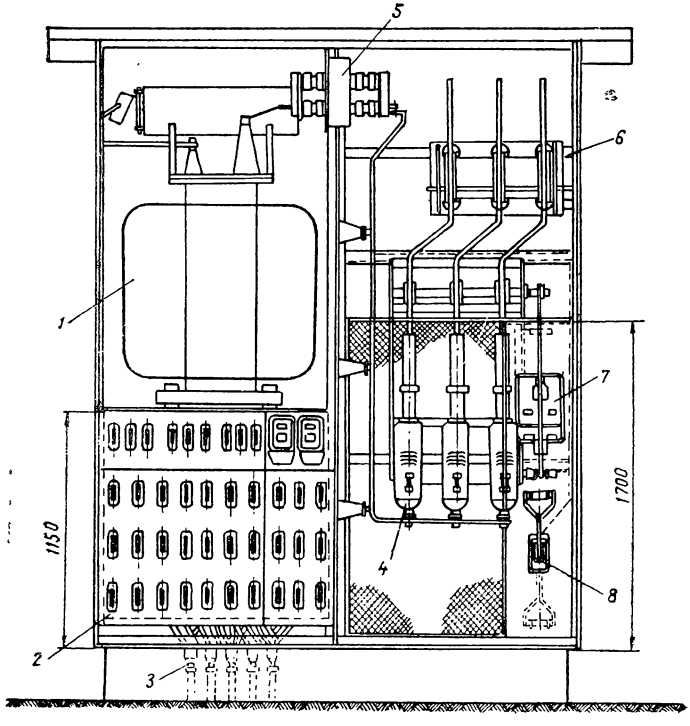


Fig. 19—21. Secțiune longitudinală printr-un post de transformare tip PTM.

La ieşirea din întrerupător se găseşte separatorul *6*.

Acţionarea întrerupătorului se face cu dispozitivul manual de închidere tip DMI 4, notat cu *7*, iar separatorul cu ajutorul dispozitivului de acţionare AMI 2, notat cu *8*. Celula de înaltă tensiune este prevăzută în faţă cu o plasă metalică de protecţie.

Puterea transformatoarelor care se pot monta în astfel de posturi este de 320—400 kVA, 6-15/0,4 kV.

Numărul de plecări pe tablourile de joasă tensiune se alege în funcţie de necesităţi.

Atît posturile de transformare în clădire supraterană, cît şi cele metalice ocupă spaţii apreciabile, uneori influenţînd negativ ansamblul arhitectonic şi de aceea acolo unde condiţiile de urbanistică se impun se construiesc posturi de transformare subterane.

Acestea nu diferă esenţial de posturile supraterane, decît prin faptul că au în plus instalaţii de ventilaţie. Accesul personalului în post se face printr-o deschidere acoperită cu o trapă de dimensiuni corespunzătoare.

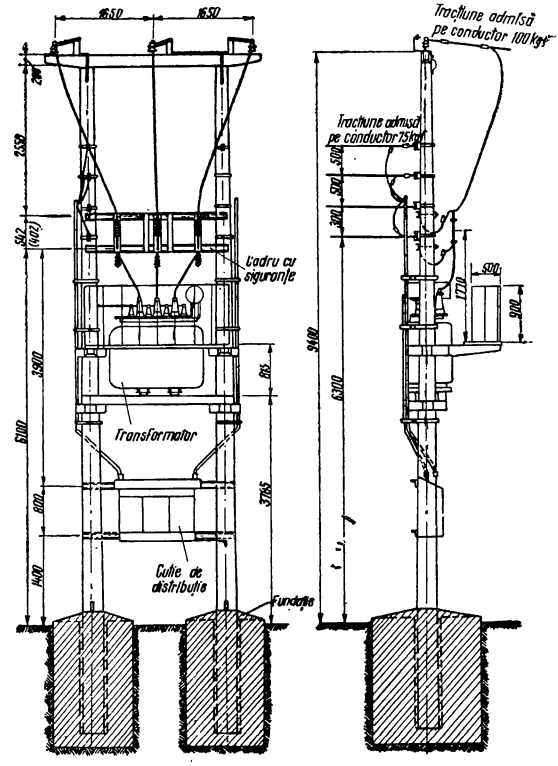


Fig. 19—22. Post de transformare pe stîlpi de beton.

Aparatele se introduc printr-o deschidere la sol acoperită cu un capac (trapa mare). În rețelele din mediul rural se utilizează posturile de transformare montate pe unul sau doi stîlpi de lemn sau de beton, transformatorul avînd puterea de maximum 250 kVA.

Un astfel de post de transformare pe stîlpi de beton se vede în figura 19—22.

Linia de alimentare a postului intră la transformator prin separator și siguranțe.

În cutia de distribuție se montează siguranțele de joasă tensiune cu mîner, transformatoarele de intensitate și contoarele de energie activă și reactivă. Fiind vorba de puteri mici, transformatorul poate fi deconectat cu ajutorul unui separator acționat cu ajutorul unei manete de la baza stîlpului.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiții trebuie avute în vedere la construirea unui post de transformare?
2. Ce avantaje prezintă posturile de transformare de tip PTM?
3. Ce inconveninente prezintă posturile de transformare supraterane?

Capitolul XX

SCURTCIRCUITELE ÎN REȚELELE ELECTRICE

EFECTELE CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT ȘI CLASIFICAREA LOR

Scurtcircuitul este un fenomen nedorit, care poate apărea în mod accidental în rețelele electrice, datorită defectării izolației electrice a conductoarelor. În momentul apariției scurtcircuitului se produc o serie de modificări în funcționarea rețelei și în primul rînd curenții ating valori foarte mari.

Într-un circuit format dintr-un generator G, o linie de transport L și un receptor M (fig. 20—1), în regim normal de funcționare circulă un curent I_n, a cărui valoare se obține, în cazul circuitului monofazat de mai sus, prin împărțirea tensiunii generatorului U la impedanța întregului circuit Z_t:

$$I_n = \frac{U}{Z_t}, \tag{20.1}$$

unde

$$Z_t = Z_G + Z_L + Z_M.$$

Se presupune că izolația conductoarelor la bornele receptorului (motorul M) s-a deteriorat și că se stabilește un contact electric între punctele A și B. În această situație curentul nu mai trece prin receptor, ci pe drumul cu cea mai mică rezistență, adică între A și B. Curentul care circulă prin acest nou circuit „scurtat" se numește curent de scurtcircuit I_k. Valoarea acestui curent se obține prin împărțirea tensiunii generatorului la impedanța Z_k a noului circuit format numai din impedanța generatorului și a liniei electrice:

$$Z_k = Z_G + Z_L.$$

Curentul de scurtcircuit se obține din relația:

$$I_k = \frac{U}{Z_k}. \tag{20.2}$$

Elementele sistemelor energetice, cum sînt generatoarele, transformatoarele, reactoarele și liniile electrice aeriene, au reactanța mult mai mare decît rezistența activă. De aceea în calculul rețelelor de înaltă tensiune se ia în considerație (la calculul impedanței circuitului în care s-a produs scurtcircuitul) numai reactanța:

$$I_k = \frac{U}{x_k}. \tag{20.3}$$

Din figura 20—1 rezultă că tensiunea nu-și va păstra valoarea pe care a avut-o înainte de scurtcircuit; la bornele motorului M devine zero, iar la bornele generatorului scade.

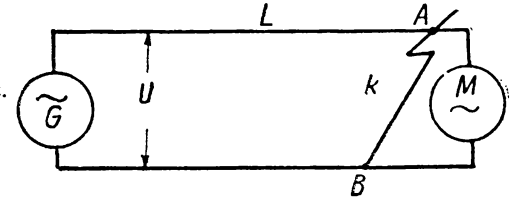


Fig. 20—1. Schema unui circuit monofazat.

1. Efectele curenților de scurtcircuit

Avînd în vedere efectele curenților de scurtcircuit asupra sistemelor energetice, studierea lor este foarte importantă. Efectele principale ale curenților de scurtcircuit sînt electrodinamice și termice.

Efectele electrodinamice provocate de forțele electrodinamice pot deteriora instalațiile care nu sînt suficient de rezistente mecanic. De exemplu, se pot îndoi și chiar rupe barele din stațiile electrice interioare, se poate sparge partea de porțelan a izolatoarelor, se pot deschide nedorit separatoarele etc.

Efectele termice sînt provocate de curenții de scurtcircuit atunci cînd densitatea de curent admisibilă este depășită. În aceste cazuri, conductoarele se pot încălzi așa de mult, încît se produce topirea lor; la aparatele de deconectare (întrerupătoare) se pot topi contactele, se poate distruge izolația etc.

Principalele cauze care provoacă scurtcircuite în instalațiile electrice sînt următoarele:

— nerespectarea prescripțiilor de exploatare și întreținere;
— nerespectarea normelor de tehnica securității muncii;
— îmbătrînirea (uzura) izolației;
— deteriorarea izolației din cauza supratensiunilor;
— ruperea conductoarelor și stîlpilor liniilor electrice aeriene;
— stabilirea contactelor electrice accidentale de către animalele și păsările care pătrund în instalațiile electrice.

În scopul unei funcționări fără defect a instalațiilor electrice, este necesar să se ia măsuri pentru înlăturarea cauzelor care pot produce scurtcircuite. Pentru a reduce urmările provocate de scurtcircuite trebuie să se folosească protecții prin relee, întrerupătoare cu acționare rapidă, la generatoare se montează regulatoare automate de tensiune, pe plecările cu tensiuni de 6—15 kV se montează protectoare (bobine de reactanță).

Montarea regulatoarelor de tensiune și a reactoarelor are ca scop menținerea valorii tensiunii în cazul unui scurtcircuit la valori cît mai apropiate de cea nominală.

2. Clasificarea scurtcircuitelor

În cadrul sistemelor electrice trifazate pot apărea trei tipuri de scurtcircuite:

— scurtcircuit trifazat (fig. 20—2, *a*), cînd toate cele trei faze sînt scurtcircuitate într-un punct comun sau sînt puse la pămînt;

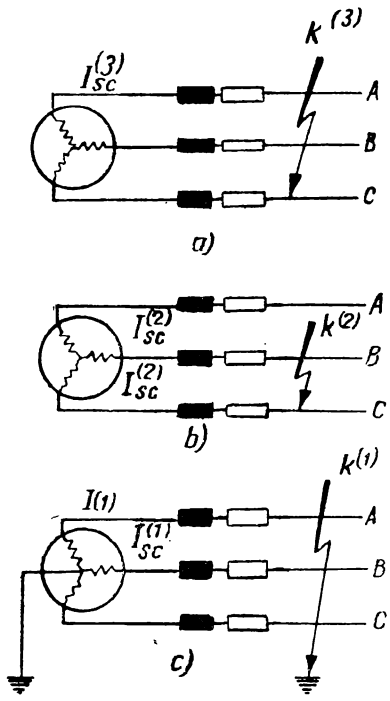


Fig. 20—2. Tipuri de scurtcircuite într-o rețea trifazată :
a — scurtcircuit trifazat ; *b* — scurtcircuit bifazat ; *c* — scurtcircuit monofazat.

— scurtcircuit bifazat (fig. 20—2,*b*), cînd două faze sînt scurtcircuitate într-un punct sau cînd s-a produs o dublă punere la pămînt ;

— scurtcircuit monofazat (fig. 20—2, *c*), cînd scurtcircuitul apare între o fază și firul neutru, sau între o fază și pămînt, dacă neutrul generatorului este pus la pămînt.

În sistemele energetice moderne, pentru a reduce valoarea curenților de scurtcircuit, neutrul nu este însă legat direct la pămînt, ci este legat prin intermediul unor rezistențe sau bobine de stingere (neutru tratat). Aceasta face ca valoarea curentului de scurtcircuit monofazat să nu depășească de obicei valoarea curentului de scurtciruit trifazat.

Valoarea curentului de scurtcircuit bifazat este mai mare decît valoarea curentului de scurtcircuit trifazat, numai în anumite cazuri.

Datorită acestor considerente, în calculele obișnuite ale rețelelor se analizează numai scurtcircuitul trifazat.

Clasificarea scurtcircuitelor se mai face și după locul unde apar în instalațiile electrice și după modul în care au luat naștere (scurtcircuit franc, prin arc, cu contact prin pămînt etc.).

Pentru calculul curenților de scurtcircuit se folosesc trei metode : în unități absolute, în unități relative și cu ajutorul curbelor de calcul.

Întrebări recapitulative

1. Ce este un scurtcircuit ?
2. Care sînt efectele curenților de scurtcircuit și în ce constau ele ?
3. Care sînt cauzele care provoacă scurtcircuite în instalațiile electrice ?
4. Cum se clasifică scurtcircuitele care apar în instalațiile electrice ?

METODA DE CALCUL ÎN UNITĂȚI ABSOLUTE

Calculul curenților de scurtcircuit este necesar atît pentru a se alege aparatajul electric, astfel încît acesta să reziste la efectele mecanice și termice, cît și pentru stabilirea reglajului protecției prin relee a instalațiilor electrice.

Deoarece scurtcircuitul trifazat este un regim simetric, calculul curenților de scurtcircuit se poate efectua cu ajutorul unor scheme de calcul ale instalației respective, așa cum se vede în figura 20—3.

Pentru efectuarea calculului este necesar să se indice pe schema de proiectare monofilară următoarele date:

Pentru generatoare:

— puterea aparentă nominală S_G în MVA;

— reactanța inductivă din momentul inițial al scurtcircuitului, numită și reactanță inductivă supratranzitorie x_d'';

— valoarea medie a tensiunii la care este legat generatorul U_{med}, în kV.

Pentru transformatoare:

— puterea aparentă nominală S_T în MVA;

— căderea de tensiune din transformator la o încărcare nominală a acestuia, adică tensiunea de scurtcircuit exprimată în procente din tensiunea nominală $u_k\%$;

— valoarea medie a tensiunii treptei din partea opusă sursei de curent, în kV.

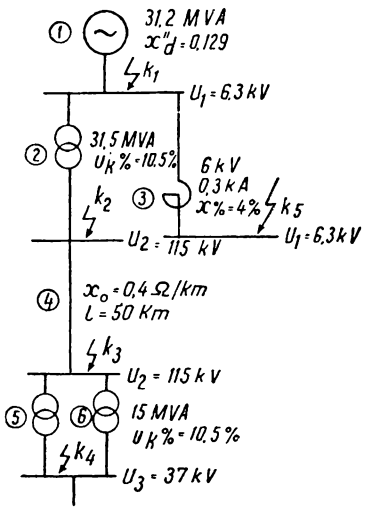


Fig. 20—3. Schema monofilară de calcul pentru exemplul 20—1.

Pentru linii electrice aeriene trifazate cu tensiunea nominală cuprinsă între 6 și 220 kV:

— reactanța inductivă x_o, în Ω/km;

— lungimea liniei l, în km;

— valoarea medie a tensiunii la care funcționează linia.

Pentru reactoare:

— curentul nominal al reactorului I_n în kA;

— tensiunea nominală U_n pentru care este construit reactorul în kV;

— reactanța procentuală, x%.

Pentru ușurința calculelor se ia pentru fiecare treaptă de tensiune, în locul valorii ei efective, valoarea medie nominală conform tabelei 20—1.

În schema de calcul sînt trecute și locurile unde pot avea loc scurtcircuite. În figura 20—3 sînt cinci asemenea locuri, notate cu k_1, k_2, k_3, k_4, k_5.

Cunoscînd datele de mai sus se poate trece apoi la întocmirea schemei echivalente de calcul (fig. 20—4, *a*), în care fiecare element al instalației este înlocuit cu reactanța lui. În dreptul reactanței se scrie o fracție, al cărei numărător este numărul elementului arbitrar ales, iar numitorul reprezintă valoarea reactanței inductive de scurtcircuit în ohmi, a elementului,calculată la tensiunea treptei la care acesta este legat. Transformatoarele fiind legate la două trepte de tensiuni diferite, la calculul reactanței se ia în considerație tensiunea treptei opuse sursei de curent. O excepție o formează reactoarele, a căror reactanță se calculează la tensiunea nominală și nu la tensiunea medie a treptei.

Calcularea reactanței inductive de scurtcircuit a fiecărui element raportată la treapta de tensiune la care este legat elementul se efectuează cu ajutorul următoarelor relații :

Tabela 20—1

Tensiunile medii standardizate

Valorile tensiunilor nominale, kV	Valorile medii nominale corespunzătoare, kV
220	230
110	115
35	37
15	15,75
10	10,5
6	6,3

Pentru generatoare :

$$x_1 = \frac{U_{med}^2 \; x''_d}{S_G}, \qquad (2.4)$$

în care : U_{med} este tensiunea medie a treptei la care este legat generatorul, în kV ;

S_G — puterea aparentă nominală a generatorului, în MVA ;

x''_d — reactanța inductivă supratranzitorie a generatorului.

Pentru transformatoare :

$$x_2 = \frac{U_{med}^2 \cdot u_k\%}{100 \; S_T}, \qquad (20.5)$$

în care : U_{med} este tensiunea medie a treptei la care este legat transformatorul și opusă sursei de curent ;

S_T — puterea aparentă nominală a transformatorului, în MVA ;

$u_k\%$ — tensiunea de scurtcircuit a transformatorului exprimată în procente din tensiunea nominală.

Pentru linii electrice aeriene trifazate cu tensiunea nominală cuprinsă între 6 și 220 kV :

$$x_l = x_0 l, \tag{20.6}$$

în care : x_0 este reactanța unui km din linie, exprimată în Ω/km ;

l — lungimea liniei în km.

Pentru reactoare :

$$x_r = \frac{U_n \cdot x\%}{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot 100} \tag{20.7}$$

în care : U_n este tensiunea nominală pentru care este construit reactorul, în kV ;

I_n — curentul nominal al reactorului, în kA ;

$x\%$ — reactanța procentuală a reactorului.

Pentru fiecare punct de scurtcircuit se întocmește apoi cîte o schemă separată (schemele *b*, *c*, *d*, *e* și *f* din figura 20—4).

De asemenea, în aceste scheme se scrie, în dreptul fiecărui element, o fracție al cărei numărător indică numărul elementului, iar numitorul reprezintă reactanța inductivă de scurtcircuit a elementului respectiv în ohmi, raportată la tensiunea de bază U_b, adică la tensiunea medie a treptei în care are loc scurtcircuitul. Această raportare se face cu ajutorul următoarei relații :

$$x_b = x \frac{U_b^2}{U_{med}^2}, \tag{20.8}$$

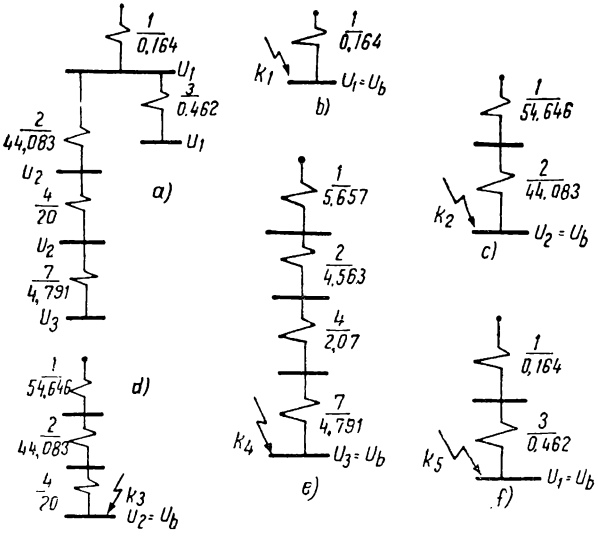


Fig. 20—4. Schema echivalentă de calcul pentru exemplul 20—1.

în care : U_b este tensiunea treptei în care are loc scurtcircuitul (tensiunea de bază), în kV ;

U_{med} — tensiunea medie a treptei la care este legat elementul respectiv, în kV ;

x — reactanța inductivă de scurtcircuit a elementului, calculată la tensiunea medie a treptei la care este legat elementul în Ω ;

x_b — reactanța inductivă de scurtcircuit a elementului, raportată la tensiunea de bază, în Ω.

De exemplu în cazul scurtcircuitului în punctul k_4, tensiunea la care se raportează toate reactanțele inductive prin care circulă curentul de scurtcircuit I_{k_4} este U_3.

Separat pentru fiecare scurtcircuit se însumează reactanțele inductive raportate la tensiunea de bază respectivă. Această sumă se numește reactanță inductivă totală de scurtcircuit x_k. Pentru fiecare scurtcircuit curentul se stabilește cu ajutorul relației :

$$I_k = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_k}, \tag{20.9}$$

în care : I_k este curentul de scurtcircuit, în kA ;

U_b — tensiunea de bază a treptei în care are loc scurtcircuitul, în kV ;

x_k — reactanța inductivă totală de scurtcircuit, în Ω.

Întrebări recapitulative

1. Ce date trebuie să conțină schema monofilară cu privire la diferitele elemente ale unei instalații electrice ?
2. Ce este tensiunea medie și cînd se folosește ea ?
3. Ce este tensiunea de bază și reactanța inductivă de bază și ce importanță prezintă ele ?

CALCULUL REACTANȚELOR CU AJUTORUL UNITĂȚILOR ABSOLUTE

Exemplul de calcul 20—1. Să se calculeze curenții de scurtcircuit în punctele k_1, k_2, k_3, k_4 și k_5 (fig. 20—3).

Datele necesare calculului sînt specificate în figură, în dreptul fiecărui element.

Se transformă schema de calcul din figura 20—3, în schema echivalentă din figura 20—4, *a*.

— Calculul reactanței inductive a generatorului (elementul 1):

Din schemă (fig. 20—3) rezultă următoarele date ale generatorului: $U_{med} = 6{,}3$ kV; $S_G = 31{,}2$ MVA; $x''_d = 0{,}129$.

Utilizînd relația (20 · 4) se obține:

$$x_1 = \frac{U^2_{med}\, x''_d}{S_G} = \frac{6{,}3^2 \cdot 0{,}129}{31{,}2} = 0{,}164\,\Omega$$

— Calculul reactanței inductive a transformatorului (elementul 2).

Din schemă rezultă următoarele date ale transformatorului: $U_{med} = 115$ kV; $S_T = 31{,}5$ MVA; $u_k\,\% = 10{,}5$.

Utilizînd relația (20 • 5) se obține:

$$x_2 = \frac{U^2_{med}\, u_k\,\%}{100\, S_T} = \frac{115^2 \cdot 105}{100 \cdot 31{,}5} = 44{,}083\ \Omega.$$

— Calculul reactanței inductive a reactorului (elementul 3).

Din schema rezultă următoarele date ale reactorului:

$$U_n = 6\text{ kV};\ I_n = 0{,}3\text{ kA};\ x\% = 4.$$

Utilizînd relația (20 • 7) se obține:

$$x_3 = \frac{U_n\, x\,\%}{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot 100} = \frac{6 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0{,}3 \cdot 100} = 0{,}462\ \Omega.$$

— Calculul reactanței inductive a liniei (elementul 4).

Din schemă rezultă următoarele date ale liniei: $x_0 = 0{,}4\ \Omega/\text{km}$; $l = 50$ km.

Utilizînd relația (20 • 6) se obține:

$$x_4 = x_0 \cdot l = 0{,}4 \cdot 50.$$

— Calculul reactanței inductive a transformatorului:

Formulele de calcul sînt aceleași ca la transformatorul *2*, însă se ține seama de caracteristicile din schemă ale transformatorului *5*: $U_{med} = 37$ kV; $S_T = 15$ MVA; $U_k\,\% = 10{,}5$, deci utilizînd relația (20 • 5), rezultă reactanța de scurtcircuit a transformatorului *5*.

$$x_5 = \frac{U^2_{med} U_k\,\%}{100\, S_T} = \frac{37^2 \cdot 10{,}5}{100 \cdot 15} = 9{,}582\ \Omega.$$

Transformatorul *6* avînd aceleași caracteristici ca ale transformatorului *5*, reactanța inductivă este aceeași: $x_6 = x_5 = 9{,}582\ \Omega$.

— Calculul reactanței echivalente a transformatoarelor 5 și 6 în paralel:

Reactanța echivalentă a celor două transformatoare se calculează cu formula cunoscută

$$x_7 = \frac{x_5 x_6}{x_5 + x_6};$$

$$x_7 = \frac{9{,}582 \cdot 9{,}582}{9{,}582 + 9{,}582} = \frac{9{,}582^2}{2 \cdot 9{,}582} = \frac{9{,}582}{2} = 4{,}791\Omega.$$

CALCULUL REACTANȚEI TOTALE DE SCURTCIRCUIT ÎN UNITĂȚI ABSOLUTE

— *Scurtcircuit în punctul* k_1 (fig. 20—4,*b*) :

tensiunea de bază $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV ;

reactanța inductivă totală x_{k1}, prin care circulă curentul de scurtcircuit I_{k1}, este egală cu reactanța inductivă a generatorului x_1 ea fiind deja raportată la tensiunea de bază deci :

$$x_1 = x_{1b}$$

$$x_{k1} = x_{1b} = 0{,}164\ \Omega.$$

— *Scurtcircuit în punctul* k_2 (fig. 20—4,*c*) :

tensiunea de bază $U_b = U_2 = 115$ V ;

reactanța inductivă totală de scurtcircuit :

$$x_{k2} = x_{1b} + x_{2b}.$$

Reactanțele inductive însumate trebuie raportate la tensiunea de bază, care în cazul scurtcircuitului în punctul k_2 este $U_b = U_2$; deci se raportează reactanța inductivă a generatorului x_1 la treapta de tensiune U_2 ; pentru aceasta se folosește formula (20 • 8) ; deoarece $U_b = U_2$; iar $U_{med} = U_1$, rezultă :

$$x_{1b} = x_1 \frac{U_b^2}{U_{med}^2} = x_1 \frac{U_2^2}{U_1^2} = 0{,}164 \frac{115^2}{6{,}3^2} = 0{,}164 \frac{13\,225}{39{,}69} = 54{,}646\ \Omega$$

reactanța inductivă a transformatorului x_2 este deja calculată la tensiunea U_2 :

$$x_2 = x_{2b} = 44{,}083\ \Omega.$$

$$x_{k2} = 54{,}646 + 44{,}083 = 98{,}729\ \Omega.$$

— *Scurtcircuit în punctul* k_3 (fig. 20—4,*d*) :

tensiunea de bază $U_b = U_2 = 115$ kV ;

reactanța transformatorului x_2 și reactanța reactorului x_4 fiind deja calculate la tensiunea treptei în care se produce scurtcircuitul, rezultă : $x_2 = x_{2b} = 44{,}083\ \Omega$; $x_4 = x_{4b} = 20\ \Omega$;

— reactanța generatorului x_1 fiind calculată la tensiunea U_1 trebuie să fie raportată la tensiunea de bază, adică la $U_b = U_2$.

$$x_{1b} = x_1 \frac{U_b^2}{U_{med}^2} = x_1 \frac{U_2^2}{U_1^2} = 0{,}164 \frac{115^2}{6{,}3^2} = 54{,}646\ \Omega,$$

reactanța inductivă totală de scurtcircuit :

$$x_{k3} = x_{1b} + x_{2b} + x_{3b}$$

$$x_{k3} = 54{,}646 + 44{,}083 + 20 = 118{,}729\Omega.$$

— *Scurtcircuit în punctul* k_4 (fig. 20—4,*e*) :

tensiunea de bază, $U_b = U_3 = 37$ kV ;

reactanța inductivă totală de scurtcircuit,

$$x_{k4} = x_{1b} + x_{2b} + x_{4b} + x_{7b} ;$$

— reactanța x_1 fiind calculată la tensiunea U_1, iar reactanțele x_2 și x_4 fiind calculate la tensiunea U_2, ele trebuie raportate la tensiunea de bază $U_b = U_3$, după cum urmează:

$$x_{1b} = x_1 \frac{U_b^2}{U_{med}^2} = x_1 \frac{U_3^2}{U_1^2} = 0{,}164 \frac{37^2}{6{,}3^2} = 0{,}164 \frac{1\,369}{39{,}69} = 5{,}657\ \Omega.$$

$$x_{2b} = x_2 \frac{U_b^2}{U_{med}^2} = x_2 \frac{U_3^2}{U_2^2} = 44{,}083 \frac{37^2}{115^2} = 44{,}083 \frac{1\,369}{13\,225} = 4{,}563\ \Omega.$$

$$x_{4b} = x_4 \frac{U_b^2}{U_{med}^2} = x_4 \frac{U_3^2}{U_2^2} = 20 \frac{37^2}{115^2} = 20 \frac{1\,369}{13\,225} = 2{,}07\ \Omega,$$

— reactanța x_7 fiind deja calculată la tensiunea U_3 rezultă

$$x_{7b} = x_7 = 4{,}791\ \Omega;$$

$$x_{k4} = 5{,}657 + 4{,}563 + 2{,}07 + 4{,}791 = 17{,}081\ \Omega.$$

— *Scurtcircuit în punctul* k_5 (fig. 20—4,*f*);
— tensiunea de bază $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV;
— reactanța inductivă totală de scurtcircuit: $x_{k5} = x_{1b} + x_{3b}$;
— reactanțele x_1 și x_3 fiind deja raportate la $U_b = U_1$ rezultă:

$$x_1 = x_{1b} \text{ și } x_3 = x_{3b} \text{ deci:}$$

$$x_{k5} = 0{,}164 + 0{,}462 = 0{,}626\ \Omega.$$

CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT PENTRU PUNCTELE

k_1, k_2, k_3, k_4 și k_5 (fig. 20—3)

— curentul de scurtcircuit în punctul k_1, conform relației (20·9), este:

$$I_{k1} = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_{k1}} = \frac{U_1}{\sqrt{3}\, x_{k1}} = \frac{6{,}3}{1{,}73 \cdot 0{,}164} = \frac{6{,}3}{0{,}2857} = 22{,}21\ \text{kA};$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_2:

$$I_{k2} = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_{k2}} = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, x_{k2}} = \frac{115}{1{,}73 \cdot 98{,}729} = \frac{115}{170{,}8} = 0{,}674\ \text{kA};$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_3:

$$I_{k3} = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_{k3}} = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, x_{k3}} = \frac{115}{1{,}73 \cdot 118{,}729} = \frac{115}{205{,}4} = 0{,}56\ \text{kA};$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_4:

$$I_{k4} = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_{k4}} = \frac{U_3}{\sqrt{3}\, x_{k4}} = \frac{37}{1{,}73 \cdot 17{,}081} = \frac{37}{29{,}55} = 1{,}25 \text{ kA};$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_5:

$$I_{k5} = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_{k5}} = \frac{U_1}{\sqrt{3}\, x_{k5}} = \frac{6{,}3}{1{,}75 \cdot 0{,}626} = \frac{6{,}3}{1{,}083} = 5{,}82 \text{ kA};$$

METODE DE CALCUL ÎN UNITĂȚI RELATIVE

Pentru a ușura calculul curenților de scurtcircuit se utilizează metoda unităților relative. O mărime exprimată în unități relative este raportul dintre mărimea respectivă în unități fizice (ohmi, amperi, volți) și o mărime de bază, de același fel, exprimată tot în unități fizice. Unitățile relative se notează cu un indice stelat și sînt fără dimensiuni (fiind raportul a două mărimi de același fel).

În calculul curenților de scurtcircuit intervin următoarele mărimi: x, I, U și S. Unitățile relative ale acestor mărimi se obțin, deci, prin împărțirea lor la unitățile respective de bază, adică la x_b, I_b, U_b și S_b:

$$x_* = \frac{x}{x_b}, \tag{20.10}$$

$$I_* = \frac{I}{I_b}, \tag{20.11}$$

$$U_* = \frac{U}{U_b}, \tag{20.12}$$

$$S_* = \frac{S}{S_b}. \tag{20.13}$$

Între mărimile de bază există următoarele relații:

$$U_b = \sqrt{3}\, I_b x_b; \tag{20.14}$$

$$S_b = \sqrt{3}\, U_b I_b; \tag{20.15}$$

$$x_b = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, I_b}; \tag{20.16}$$

$$I_b = \frac{U_b}{\sqrt{3}\, x_b} \text{ sau } I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\, U_b}. \tag{20.17}$$

Curentul relativ de scurtcircuit I_{k*} este egal cu raportul dintre mărimea lui reală în amperi și mărimea curentului de bază I_b :

$$I_{k*} = \frac{I_k}{I_b} \text{ sau } I_k = I_{k*} I_b, \tag{20.18}$$

unde I_{k*} este curentul relativ de scurtcircuit ;
I_k — curentul de scurtcircuit în amperi ;
I_b — curentul de bază în amperi.

Pentru a exprima curentul relativ de scurtcircuit I_{k*} în funcție de tensiunea relativă de scurtcircuit U_{k*} și de reactanța relativă de scurtcircuit x_{k*} se pornește de la formula (20.18), utilizînd și formula (20.17) :

$$I_{k*} = \frac{I_k}{I_b} = \frac{\dfrac{U_k}{\sqrt{3}\, x_k}}{\dfrac{U_b}{\sqrt{3}\, x_b}} = \frac{\dfrac{U_k}{U_b}}{\dfrac{x_k}{x_o}} = \frac{U_{k*}}{x_{k*}}. \tag{20.19}$$

După cum s-a văzut mai înainte, la calculul curenților de scurtcircuit s-a ales ca tensiune de bază, tensiunea treptei în care s-a produs scurtcircuitul, deci $U_k = U_b$, de unde rezultă că tensiunea relativă de scurtcircuit este egală cu

$$U_{k*} = \frac{U_k}{U_b} = \frac{U_b}{U_b} = 1.$$

Formula (20.19) devine :

$$I_{k*} = \frac{1}{x_{k*}}. \tag{20.20}$$

În final interesează valoarea în amperi a curentului de scurtcircuit I_k, care se exprimă în funcție de curentul de bază I_b și de reactanța relativă de scurtcircuit x_{k*}.

Reluînd formula (20.18) în locul curentului relativ de scurtcircuit I_{k*} se introduce valoarea lui din formula (20.20) și rezultă :

$$I_k = I_b \cdot I_{k*} = \frac{I_b}{x_{k*}}. \tag{20.21}$$

Deci, în calculul curentului de scurtcircuit trebuie să se stabilească pentru fiecare scurtcircuit reactanța relativă de scurtcircuit de la generator pînă la locul de scurtcircuit și curentul de bază pentru scurtcircuitul respectiv. Curentul de bază se calculează cu ajutorul formulei (20.17).

Se construiește apoi schema monofilară de calcul cu aceleași date ale elementelor ca și pentru metoda în unități absolute (v. fig. 20—3). Numitorul fracțiilor conține însă, în acest caz, reactanțele relative ale elementelor.

Schemele de calcul pentru fiecare scurtcircuit se stabilesc la fel ca la metoda cu mărimi absolute, adică luînd în considerație numai elementele prin care trece curentul de scurtcircuit. La numărătorul fracției din dreptul elementului se trece numărul elementului. Simplificarea esențială este aceea că la numitor se trec aceleași reactanțe relative ca și în schema globală de calcul (fig. 20—5), în cazul metodei cu unități relative nemai fiind necesară raportarea reactanțelor relative la diferitele trepte de tensiune; excepție fac numai reactoarele.

Însumînd pentru fiecare scurtcircuit reactanțele relative se obțin reactanțele relative de scurtcircuit x_{k*}.

Calculînd cu ajutorul formulei (20.17), pentru fiecare scurtcircuit, curentul de bază în funcție de tensiunea de bază, care se ia egală cu tensiunea treptei locului de scurtcircuit, se obține curentul de scurtcircuit I_k la punctul de scurtcircuit respectiv, cu relația (20.21).

În formula (20.17) apare însă și puterea aparentă de bază S_b, care pentru ușurința calculelor se ia, de exemplu, de 100 MVA.

Reactanțele relative se calculează după cum urmează:

— *pentru generatoare,*

$$x_* = \frac{x''_d \, S_b}{S_G}, \tag{20.22}$$

în care: x_* este reactanța relativă a generatorului, în unități relative;

x''_d — reactanța supratranzitorie a generatorului;

S_b — puterea aparentă de bază, în MVA;

S_G — puterea aparentă nominală a generatorului, în MVA;

— *pentru transformatoare,*

$$x_* = \frac{u_k \% \, S_b}{100 \, S_T}, \tag{20.23}$$

în care x_* este reactanța relativă a transformatorului, în unități relative;

$u_k\%$ — tensiunea de scurtcircuit, în procente din tensiunea nominală a transformatorului;

S_b — aceeași putere aparentă de bază, în MVA;

S_T — puterea aparentă nominală a transformatorului, în MVA;

— *pentru linii electrice aeriene,*

$$x_* = \frac{x_o l S_b}{U^2_{med}}, \tag{20.24}$$

în care : x_* este reactanța relativă a liniei electrice, în unități relative ;

x_o — reactanța inductivă a unui kilometru din linia electrică, în Ω/km ;

U_{med} — tensiunea medie nominală a liniei, în kV ;

l — lungimea liniei electrice, în km ;

— *pentru reactoare,*

$$x_* = \frac{x\%}{100} \frac{I_b U_n}{I_n U_b}, \tag{20.25}$$

în care : x_* este reactanța inductivă a reactorului, în unități relative ;

U_n — tensiunea nominală pentru care este construit reactorul, în kV ;

I_n — curentul nominal al reactorului, în kA ;

U_b — tensiunea de bază egală cu tensiunea locului de scurt-circuit, în kV ;

I_b — curentul de bază calculat cu ajutorul formulei (20.17), în kA.

Întrebări recapitulative

1. În ce constă metoda de calcul a unităților relative ?
2. Ce este tensiunea de bază U_b și cum se alege ea ?
3. Ce este puterea aparentă de bază și ce valoare i se atribuie ?

CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT CU AJUTORUL METODEI UNITĂȚILOR RELATIVE

Exemplul de calcul 20.2. Să se calculeze curenții de scurtcircuit în punctele k_1, k_2, k_3, k_4 și k_5 din figura 20—3, folosind metoda unităților relative.

Se alege puterea aparentă de bază :

S_b = 100 MVA.

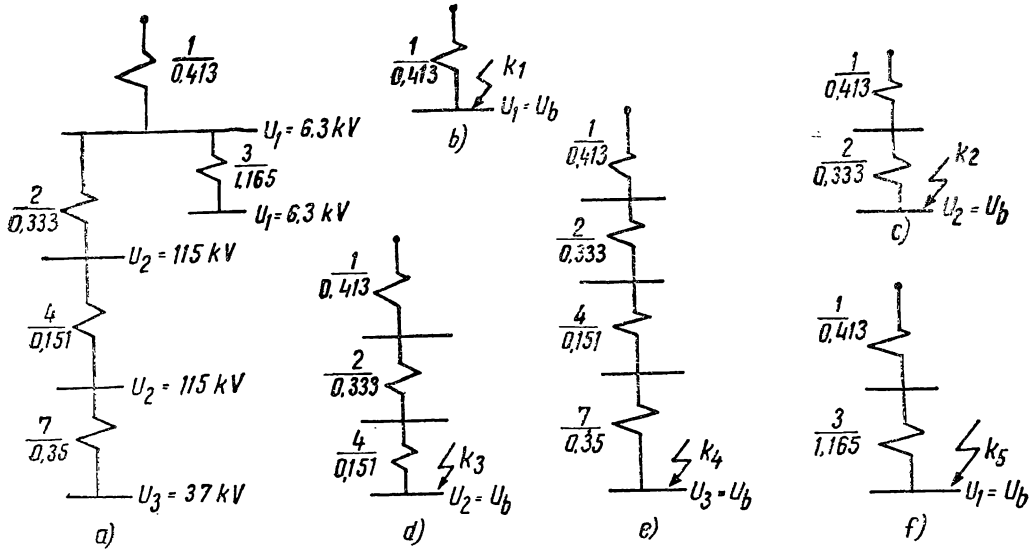


Fig. 20—5. Schema echivalentă de calcul pentru exemplul 20—2.

Se construiește schema echivalentă de calcul (fig. 20—5, *a*)

— Reactanța relativă a generatorului (elementul *1*) :

$$x_{1*} = \frac{x''_d S_b}{S_G} = \frac{0{,}129 \cdot 100}{31{,}2} = 0{,}413.$$

— Reactanța relativă a transformatorului (elementul *2*) :

$$x_{2*} = \frac{u_k\% \; S_b}{100 \; S_n} = \frac{10{,}5 \cdot 100}{100 \cdot 31{,}5} = 0{,}333.$$

— Reactanța relativă a reactorului (elementul 3) :

$$x_{3*} = \frac{x\% \cdot I_{b\,(U_1)} \cdot U_n}{100 \; I_n \; U_b} = \frac{4 \cdot 9{,}174 \cdot 6}{100 \cdot 0{,}3 \cdot 6{,}3} = \frac{200{,}176}{198} = 1{,}165.$$

Ținînd seama că $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV, curentul de bază s-a calculat astfel :

$$I_{b(U_1)} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\; U_b} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\; U_1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6{,}3} = \frac{100}{10{,}9} = 9{,}174 \text{ kA};$$

— reactanța relativă a liniei electrice aeriene :

$$x_{4*} = \frac{x_0 \, l \, S_b}{U^2_{med}} = \frac{0{,}4 \cdot 50 \cdot 100}{115^2} = \frac{2\,000}{13\,225} = 0{,}151;$$

— reactanțele relative ale transformatoarelor *5* și *6*, avînd în vedere faptul că transformatoarele *5* și *6* au caracteristicile egale între ele :

$$x_{5*} = x_{6*} = \frac{U_k \% \; S_b}{100 \; S_T} = \frac{10{,}5 \cdot 100}{100 \cdot 15} = 0{,}7.$$

Reactanța relativă echivalentă este deci :

$$x_{7*} = \frac{x_{5*}}{2} = \frac{0{,}7}{2} = 0{,}35.$$

Se stabilesc schemele de calcul pentru fiecare scurtcircuit, calculînd reactanțele relative de scurtcircuit și curenții de scurtcircuit pentru fiecare caz în parte.

— *Scurtcircuitul în punctul* k_1 (fig. 20—5, *b*) :

— tensiunea de bază, $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV ;

— curentul de bază, $I_{b(U_1)} = 9{,}174$ kA (s-a calculat la aflarea reactanței relative a reactorului) ;

— reactanța relativă de scurtcircuit : $x_{k1*} = x_{1*} = 0{,}413$;

— curentul de scurtcircuit în punctul k_1 :

$$I_{k1} = \frac{I_{b(U_1)}}{x_{k1*}} = \frac{9{,}174}{0{,}413} = 22{,}21 \text{ kA} ;$$

— *scurtcircuit în punctul* k_2 (fig. 20—5, *c*) :

— tensiunea de bază $U_b = U_2 = 115$ kV ;

— curentul de bază (cînd tensiunea de bază $U_b = U_2$) :

$$I_{b(U_2)} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \; U_b} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \; U_2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = \frac{100}{198 \cdot 95} = 0{,}503 \text{ kA} ;$$

— reactanța relativă de scurtcircuit :

$$x_{k2*} = x_{1*} + x_{2*} = 0{,}413 + 0{,}333 = 0{,}746 ;$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_2 :

$$I_{k2} = \frac{I_{b(U_2)}}{x_{k2*}} = \frac{0{,}503}{0{,}746} = 0{,}67 \text{ kA} ;$$

$$I_{k2} = 0{,}67 \text{ kA} ;$$

— *scurtcircuit în punctul* k_3 (fig. 20—5, *d*) :

— tensiunea de bază $U_b = U_2 = 115$ kV ;

— curentul de bază $I_{b(U_2)} = 0{,}503$ kA ;

— reactanța relativă de scurtcircuit :

$$x_{k3*} = x_{1*} + x_{2*} + x_{4*} = 0{,}413 + 0{,}333 + 0{,}151 = 0{,}897 ;$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_3 :

$$I_{k3} = \frac{I_{b(U_2)}}{x_{k3*}} = \frac{0{,}503}{0{,}897} = 0{,}56 \text{ kA};$$

— *scurtcircuit în punctul* k_4 (fig. 20—5, *e*) :

— tensiunea de bază, $U_b = U_3 = 37$ kV ;

— curentul de bază (cînd tensiunea de bază $U_b = U_3 = 37$ kV

$$I_{b(U_3)} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\, U_b} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\, U_3} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = \frac{100}{64} = 1{,}562 \text{ kA};$$

— reactanța relativă de scurtcircuit :

$$x_{k4*} = x_{1*} + x_{2*} + x_{4*} + x_{7*} = 0{,}413 + 0{,}333 + 0{,}151 + 0{,}35 = 1{,}247;$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_4 :

$$I_{k4} = \frac{I_{b(U_3)}}{x_{k4*}} = \frac{1{,}562}{1{,}247} = 1{,}25 \text{ kA};$$

$$I_{k4} = 1{,}25 \text{ kA};$$

— *scurtcircuit în punctul* k_5 (fig. 20—5, *f*) :

— tensiunea de bază, $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV ;

— curentul de bază, $I_{b(U_1)} = 9{,}174$ kA ;

— reactanța relativă de scurtcircuit,

$$x_{k5*} = x_{1*} + x_{3*} = 0{,}413 + 1{,}165 = 1{,}578;$$

— curentul de scurtcircuit în punctul k_5 :

$$I_{k5} = \frac{I_{b(U_1)}}{x_{k5*}} = \frac{9{,}174}{1{,}578} = 5{,}82 \text{ kA}.$$

Se constată că valorile obținute sînt identice cu cele rezultate în cazul folosirii metodei unităților absolute.

Sînt însă cazuri cînd pentru a obține reactanța relativă de scurtcircuit pînă la locul scurtcircuitului este necesar să se transforme de mai multe ori schema de calcul, simplificînd-o. Exemplul care urmează tratează un astfel de caz.

TRANSFORMAREA SCHEMEI ECHIVALENTE DE CALCUL

Exemplul de calcul 20• 3. Să se calculeze curentul de scurtcircuit în punctul *k* al schemei monofilare din figura 20—6.

Se alege puterea aparentă de bază :

$$S_b = 100 \text{ MVA}.$$

Tensiunea de bază se ia egală cu tensiunea treptei la care se produce scurtcircuitul, adică :

$$U_b = U_3 = 10{,}5 \text{ kV}.$$

Curentul de bază rezultă din relația (20.17) este :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\, U_b} = \frac{100}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = \frac{100}{18{,}165} = 5{,}505 \text{ kA}.$$

— Calculul reactanțelor relative :

— reactanța relativă a generatorului *1* ($S_G = 25$ MVA și $x''_d = 0{,}132$) :

$$x_{1*} = \frac{x''_d\, S_b}{S_G} = \frac{0{,}132 \cdot 100}{25} = 0{,}528;$$

— reactanța relativă a generatorului *2* ($S_G = 31{,}25$ MVA și $x''_d = 0{,}123$) :

$$x_{2*} = \frac{x''_d\, S_b}{S_G} = \frac{0{,}123 \cdot 100}{31{,}25} = 0{,}394;$$

— reactanța relativă a reactorului *3* ($U_n = 10$ kV ; $x\% = 10$; $I_n = 1{,}5$ kA) :

$$x_{3*} = \frac{x\%\, I_b \cdot U_n}{100 \cdot I_n \cdot U_b} = \frac{x\% I_b U_n}{100\, I_n U_3} = \frac{10 \cdot 5{,}505 \cdot 10}{100 \cdot 1{,}5 \cdot 10{,}5} = \frac{5{,}505}{15{,}75} = 0{,}35;$$

— reactanțele relative ale transformatoarelor *4* și *5* ($S_T = 15$ MVA ; $u_k\ \% = 10{,}5$) :

$$x_{4*} = x_{5*} = \frac{u_k\% S_b}{100 S_T} = \frac{10{,}5 \cdot 100}{100 \cdot 15} = 0{,}7;$$

Fig. 20—6. Schema monofilară de calcul pentru exemplul 20—3.

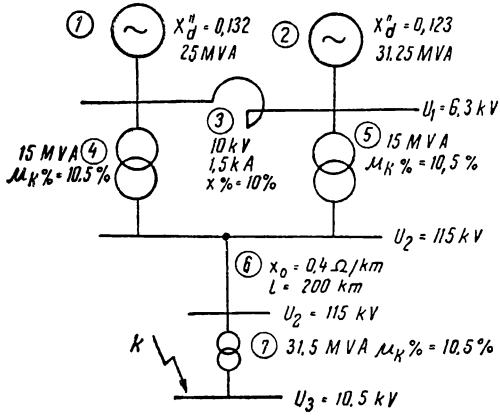
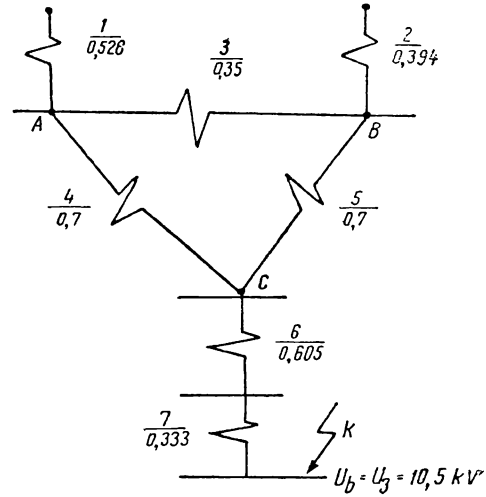


Fig. 20—7. Schema echivalentă de calcul pentru exemplul 20—3.



— reactanța relativă x_{6*} a liniei electrice aeriene 6 ($U_{med} = U_2 = 115$ kV; $x_0 = 0{,}4\ \Omega/\text{km}$; $l = 200$ km):

$$x_{6*} = \frac{x_0 l S_b}{U^2_{med}} = \frac{0{,}4 \cdot 200 \cdot 100}{115^2} = \frac{8\,000}{13\,225} = 0{,}605;$$

— reactanța relativă a transformatorului 7 ($S_T = 31{,}5$ MVA; $u_k\ \% = 10{,}5$):

$$x_{7*} = \frac{U_k\ \% S_b}{100\ S_T} = \frac{10{,}5 \cdot 100}{100 \cdot 31{,}5} = 0{,}333.$$

Se construiește schema echivalentă de calcul (fig. 20—7) și la numitorii fracțiilor se scriu reactanțele obținute mai înainte.

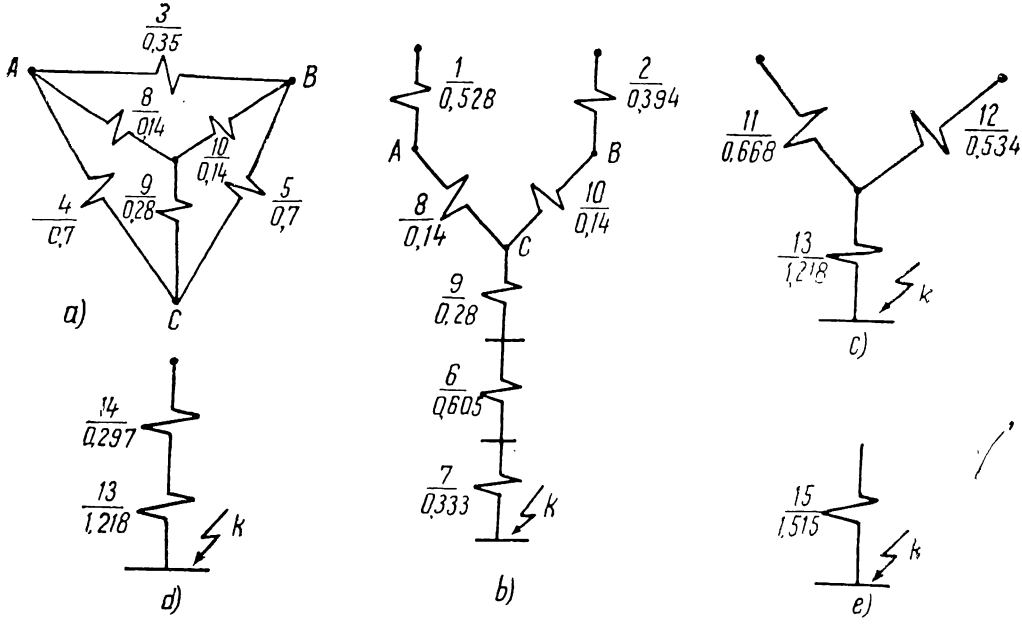
Între punctele A, B și C s-a format un triunghi. Pentru a obține reactanța relativă a întregului circuit pînă la locul de scurtcircuit se simplifică schema echivalentă de calcul (fig. 20—7). În primul rînd, se transformă triunghiul A, B, C, într-o stea echivalentă (fig. 20—8, *a*).

Formulele de transformare sînt:

$$x_{8*} = \frac{x_{4*} \cdot x_{3*}}{x_{4*} + x_{5*} + x_{3*}} =$$

$$= \frac{0{,}7 \cdot 0{,}35}{0{,}7 + 0{,}7 + 0{,}35} = \frac{0{,}245}{1{,}75} = 0{,}14;$$

Fig. 20—8. Transformarea schemei echivalente de calcul din figura 20—7, pentru calculul reactanței echivalente.



$$x_{9*} = \frac{x_{4*} \cdot x_{5*}}{x_{4*} + x_{5*} + x_{3*}} = \frac{0{,}7 \cdot 0{,}7}{0{,}7 + 0{,}7 + 0{,}35} = \frac{0{,}49}{1{,}75} = 0{,}28;$$

$$x_{10*} = \frac{x_{5*} \cdot x_{3*}}{x_{4*} + x_{5*} + x_{3*}} = \frac{0{,}7 \cdot 0{,}35}{0{,}7 + 0{,}7 + 0{,}35} = \frac{0{,}245}{1{,}75} = 0{,}14.$$

Înlocuind triunghiul ABC din figura 20—8, *a* cu steaua echivalentă rezultată, se obține schema de calcul din figura 20—8, *b*.

Schema poate fi simplificată și mai mult, însumînd reactanțele relative x_{1*} și x_{8*} care dau x_{11*} (fig. 20—8, *c*) :

$$x_{11*} = x_{1*} + x_{8*} = 0{,}528 + 0{,}14 = 0{,}668,$$

și însumînd reactanțele relative x_{2*} și x_{10*} care dau x_{12*} :

$$x_{12*} = x_{2*} + x_{10*} = 0{,}394 + 0{,}14 = 0{,}534.$$

Însumînd reactanțele relative x_{9*}, x_{6*} și x_{7*} rezultă x_{13*} :

$$x_{13*} = x_{9*} + x_{6*} + x_{7*} = 0{,}28 + 0{,}605 + 0{,}333 = 1{,}218.$$

Punctele neutre ale generatoarelor *1* și *2* fiind la același potențial (zero), reactanțele relative x_{11*} și x_{12*} vor fi în paralel. În locul lor se introduce reactanța relativă echivalentă x_{14*} (fig. 20—8, *d*) :

$$x_{14*} = \frac{x_{11*} \cdot x_{12*}}{x_{11*} + x_{12*}} = \frac{0{,}668 \cdot 0{,}534}{0{,}668 + 0{,}534} = \frac{0{,}357}{1{,}202} = 0{,}297.$$

Ultima simplificare constă din însumarea reactanțelor relative x_{14*} și x_{13*}. Se obține x_{15*} care reprezintă reactanța relativă de scurtcircuit (fig. 20—8, *e*) :

$$x_{15*} = x_{14*} + x_{13*} = 0{,}297 + 1{,}218 = 1{,}515,$$

$$x_{k_*} = x_{15*} = 1{,}515.$$

Curentul de scurtcircuit I_k este :

$$I_k = \frac{I_b}{x_{k_*}} = \frac{5{,}505}{1{,}515} = 3{,}634 \text{ kA};$$

$$I_k = 3{,}634 \text{ kA}.$$

VARIAȚIA CURENTULUI DE SCURTCIRCUIT ÎN FUNCȚIE DE TIMP

Datorită variației bruște a parametrilor de funcționare ai sistemului electric, în momentul apariției scurtcircuitului, curentul de scurtcircuit variază în timp.

În figura 20—9, *a* este reprezentată variația în timp a curentului de scurtcircuit.

Înainte de producerea scurtcircuitului, sistemul funcționează în regim normal, iar curentul de sarcină, notat cu i_s (fig. 20—9,*a*), variază sinusoidal avînd frecvența de 50 Hz. Chiar în clipa cînd se produce scurtcircuitul

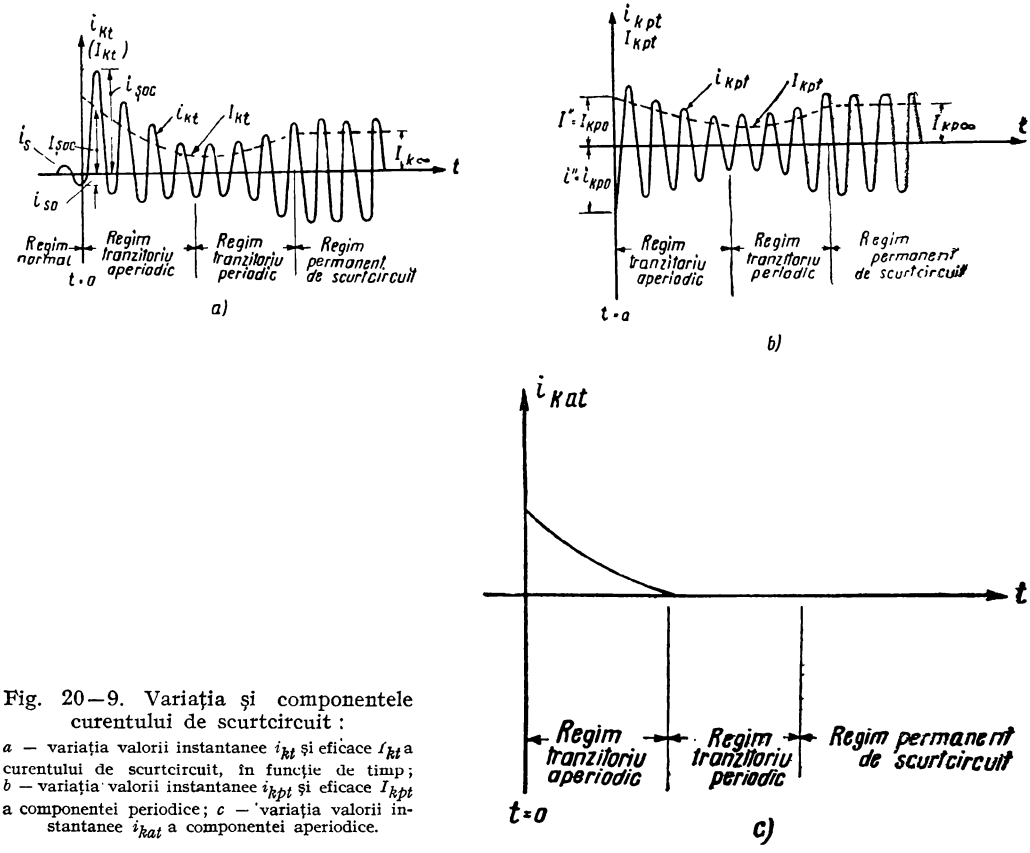


Fig. 20—9. Variația și componentele curentului de scurtcircuit :
a — variația valorii instantanee i_{kt} și eficace I_{kt} a curentului de scurtcircuit, în funcție de timp; *b* — variația valorii instantanee i_{kpt} și eficace I_{kpt} a componentei periodice; *c* — variația valorii instantanee i_{kat} a componentei aperiodice.

($t = 0$), curentul de sarcină are valoarea i_{so}; totuși, datorită faptului că reactanța circuitului scade foarte mult, curentul ar trebui să crească brusc la o valoare foarte mare dată de raportul dintre tensiune și de reactanța de scurtcircuit. Curentul care ar trebui să apară în clipa scurtcircuitului se numește curent supratranzitoriu i''; fiind generat de o tensiune periodică, el este periodic. Deoarece curentul de sarcină în momentul scurtcircuitului i_{so} nu poate crește instantaneu la valoarea i'', în sistemul scurtcircuitat se generează un curent i_{kat} capabil să anuleze în acest prim moment curentul supratranzitoriu, astfel încît valoarea curentului din sistem să rămînă i_{so}, deci :

$$i_{so} = i'' - i_{kat}$$

sau

$$i_{kat} = i'' - i_{so} = i_{kpt} - i_{so}. \qquad (20.26)$$

Curentul i_{kat} apărut astfel în circuit nu este periodic, ci variază aperiodic (fig. 20—9, *c*). Din această cauză, el se numește componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit și se anulează după primele oscilații. Regimul tranzitoriu care durează de la apariția scurtcircuitului pînă la anularea componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit se numește regim tranzitoriu aperiodic. Pe durata regimului tranzitoriu aperiodic curentul de scurtcircuit i_{kt} este rezultanta a două componente : a componentei aperiodice i_{kat} și a componentei periodice i_{kpt}. Componenta i_{kpt}, care în primul moment se numește curent supratranzitoriu i'', fiind un curent periodic, a primit denumirea de componentă periodică a curentului de scurtcircuit.

În figura 20—9, *b* se vede variația componentei periodice a curentului de scurtcircuit în funcție de timp. Este reprezentată atît variația valorii instantanee a componentei periodice i_{kpt} (linia neîntreruptă), cît și variația valorii eficace a componentei periodice I_{pkt} (linia întreruptă). De fapt, valoarea eficace a componentei periodice a curentului de scurtcircuit I_{kpt} variază pînă la un moment ; perioada de timp de la anularea componentei aperiodice pînă la momentul cînd valoarea eficace a componentei periodice a curentului nu mai variază se numește regim tranzitoriu periodic.

Perioada de timp a existenței curentului de scurtcircuit, cînd valoarea eficace a componentei periodice a curentului de scurtcircuit nu mai variază, se numește regim permanent de scurtcircuit.

Pentru alegerea echipamentului electric din rețele și stații este necesar să se determine următoarele valori ale curentului de scurtcircuit :

— valoarea de șoc instantanee a curentului de scurtcircuit $i_{șoc}$, numită și curent de șoc, adică amplitudinea maximă a curentului de scurtcircuit ; aceasta apare după prima jumătate de perioadă (după 0,01 s) de la producerea scurtcircuitului (fig. 20—9, *a*) ;

— valoarea eficace a curentului de șoc $I_{șoc}$ (fig. 20—9, *a*) ;

— valoarea eficace a curentului supratranzitoriu I'', adică valoarea eficace a componentei periodice a curentului de scurtcircuit la $t = 0$ (fig. 20—9, *b*) :

$$I'' = I_{kpo} ; \tag{20.27}$$

— valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$, care apare la $t = \infty$, deci cînd nu mai există componentă aperiodică (fig. 20—9, *a* și *b*),

$$I_{k\infty} = I_{kp\infty} ; \tag{20.28}$$

— valoarea eficace a curentului de scurtcircuit I_{kt} după t secunde de la apariția scurtcircuitului. Cînd t este mai mare decît 0,1 s este valabilă relația :

$$I_{kt} = I_{kpt}. \tag{20.29}$$

Determinarea curentului de șoc $i_{șoc}$ și a valorii lui eficace $I_{șoc}$ este necesară pentru verificarea la eforturile electrodinamice, care se exercită asupra aparatelor și pieselor conductoare de curent, în primele momente de la apariția curentului de scurtcircuit.

Valoarea instantanee a curentului de șoc se poate calcula în funcție de valoarea eficace a curentului supratranzitoriu :

$$i_{șoc} = 2{,}55\ I'' = 2{,}55\ I_{kpo}. \tag{20.30}$$

Valoarea eficace a curentului de șoc se obține tot în funcție de valoarea eficace a curentului supratranzitoriu :

$$I_{șoc} = 1{,}52\ I'' = 1{,}52\ I_{kpo}. \tag{20.31}$$

Determinarea valorii eficace a curentului supratranzitoriu I'' și a valorii eficace a curentului permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$ este necesară pentru verificarea la stabilitate termică a aparatelor și a pieselor conductoare de curent.

Determinarea valorii eficace a curentului de scurtcircuit după t secunde I_{kt} este necesară pentru alegerea întrerupătoarelor de înaltă tensiune.

Întrebări recapitulative

1. Cum se numește regimul de funcționare al unui sistem energetic în perioada existenței componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit?
2. Cum se numește valoarea amplitudinii maxime a curentului de scurtcircuit care apare după prima jumătate de perioadă de la producerea scurtcircuitului și de ce este necesară determinarea acestei valori?
3. Ce valori ale curentului de scurtcircuit trebuie cunoscute pentru alegerea echipamentului electric din stațiile și rețelele electrice?

CALCULUL CURENTULUI DE SCURTCIRCUIT ÎN FUNCȚIE DE TIMP CU AJUTORUL CURBELOR DE CALCUL

Metodele de calcul cu ajutorul mărimilor absolute și cu ajutorul mărimilor relative nu sînt suficiente pentru a calcula curenții de scurtcircuit la anumite intervale de timp după producerea scurtcircuitului.

Metodele analitice de calcul pentru determinarea curenților de scurtcircuit, la anumite intervale de timp după producerea scurtcircuitului și pentru diferitele tipuri de generatoare care alimentează scurtcircuitul, sînt laborioase și foarte anevoiase.

Problema a fost rezolvată de inginerii sovietici A. B. Cernin și V. I. Șvagher, care au construit patru grafice cu ajutorul cărora se pot determina curenții de scurtcircuit necesari alegerii aparatajului și pieselor conductoare de curent în funcție de reactanța de calcul relativă de scurtcircuit x_{ck*}. Cele patru grafice sînt construite astfel :

— pentru generatoare cu poli înecați (fig. 20—10) prevăzute cu regulatoare automate de tensiune (RAT) ;

— pentru generatoare cu poli înecați fără regulatoare automate de tensiune (fig. 20—11) ;

— pentru generatoare cu poli aparenți prevăzute cu regulatoare automate de tensiune (fig. 20—12) ;

— pentru generatoare cu poli aparenți fără regulatoare automate de tensiune (fig. 20—13).

Fiecare grafic conține în abscisă reactanța de calcul relativă de scurtcircuit x_{ck*}, iar în ordonată valoarea relativă a componentei periodice a curentului de scurtcircuit (valoarea eficace) I_{kpt}.

Graficele conțin și curbe care precizează timpul (în secunde) de la producerea scurtcircuitului. Pentru un singur x_{ck*} de pe abscisă vor fi atîtea valori ale lui I_{kpt} pe ordonată, cîte curbe de timp sînt pe grafic.

În primul rînd se determină reactanța de calcul relativă de scurtcircuit x_{ck*} în funcție de reactanța relativă de scurtcircuit x_{k*}, de suma puterilor aparente ale generatoarelor care debitează la locul de scurtcircuit S_{cb} (puterea de bază de calcul) și de puterea aparentă de bază S_b :

$$x_{ck*} = x_{k*} \frac{S_{cb}}{S_b}. \tag{20.32}$$

Valoarea eficace a curentului supratranzitoriu I'' pentru un anumit x_{ck*} se află ducînd pe grafic o dreaptă paralelă cu ordonata și care intersectează abscisa în punctul de valoare x_{ck*}. Această dreaptă intersectează și curba de timp $t = 0$. Din punctul de intersecție al dreptei cu curba $t = 0$ se duce o altă dreaptă paralelă cu abscisa și care intersectează ordonata la o anumită valoare a lui I_{kpt*} ; pentru $t = 0$ aceasta va fi I_{kpo*}.

Curentul de scurtcircuit are valoarea :

$$I_{kpt} = I_{cb} I_{kpt*} ; \tag{20.33}$$

deci curentul supratranzitoriu este

$$I'' = I_{cb} I_{kpo*}, \tag{20.34}$$

în care

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\, U_b}. \tag{20.35}$$

Pentru a calcula valoarea curentului permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$, paralela la ordonată care intersectează abscisa în x_{ck*} se duce pînă la curba $t = \infty$; din punctul de intersecție, cu ajutorul unei paralele la abscisă se citește I_{kpt_*}, care de data aceasta este $I_{kp\infty*}$:

$$I_{kp\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*}. \tag{20.36}$$

În final, cu ajutorul relației (20.28) se obține valoarea curentului permanent de scurtcircuit:

$$I_{k\infty} = I_{cb} I_{kp\infty*}. \tag{20.37}$$

Valoarea curentului de scurtcircuit I_{kt} pentru un anumit timp t se obține procedînd la fel ca în cazurile anterioare, de data aceasta luîndu-se însă în considerație curba de timp pentru timpul cerut.

Cu ajutorul relației (20.37) și al relației (20.29) se obține valoarea căutată:

$$I_{kt} = I_{cb} I_{kpt_*}. \tag{20.38}$$

Valoarea curentului de șoc $i_{șoc}$ se obține cu ajutorul relației (20.30), după ce I_{kpo}, respectiv I'', este determinat.

Valoarea eficace a curentului de șoc $I_{șoc}$ se obține cu ajutorul relației (20.31), de asemenea după ce am determinat pe I_{kpo}, respectiv pe I''.

CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT CU AJUTORUL CURBELOR DE CALCUL LA GENERATOARE CU POLI ÎNECAȚI CU RAT

Exemplul de calcul 20—4. Să se determine, cu ajutorul curbelor de calcul, următorii curenți:

— curentul supratranzitoriu I'';

— curentul de șoc $i_{șoc}$ și valoarea sa eficace $I_{șoc}$;

— curentul de scurtcircuit după 0,2 s ($I_{k0,2}$);

— curentul permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$ în punctele de scurtcircuit k_1, k_2, k_3, k_4 și k_5 ale schemei de calcul din figura 20—3, cunoscînd că generatorul *1* este cu poli înecați și cu regulator automat de tensiune (RAT).

Ca și în exemplul 20—2, se utilizează schemele echivalente de calcul din figura 20—5, calculînd cu ajutorul lor, pentru fiecare punct de scurtcircuit, reactanțele relative de scurtcircuit respective.

Acestea fiind calculate în exemplul 20—2 se transcriu cu specificația că puterea aparentă de bază la care au fost calculate este $S_b = 100$ MVA :

$$x_{k1*} = 0{,}413\,;\ x_{k2*} = 0{,}746\,;\ x_{k3*} = 0{,}897\,;\ x_{k4*} = 1{,}247\,;\ x_{k5*} = 1{,}578.$$

Puterea de bază de calcul este $S_{cb} = 31{,}2$ MVA.

Reactanțele relative de calcul se determină cu ajutorul relației (20.32) :

— pentru scurtcircuit în punctul k_1 :

$$x_{ck1*} = x_{k1*}\frac{S_{cb}}{S_b} = 0{,}413\,\frac{31{,}2}{100} = 0{,}129\,;$$

— pentru scurtcircuit în punctul k_2 :

$$x_{ck2*} = x_{k2*}\frac{S_{cb}}{S_b} = 0{,}746\,\frac{31{,}2}{100} = 0{,}233\,;$$

— pentru scurtcircuit în punctul k_3 :

$$x_{ck3*} = x_{k3*}\frac{S_{cb}}{S_b} = 0{,}897\,\frac{31{,}2}{100} = 0{,}28\,;$$

— pentru scurtcircuit în punctul k_4 :

$$x_{ck4*} = x_{k4*}\frac{S_{cb}}{S_b} = 1{,}247\,\frac{31{,}2}{100} = 0{,}389\,:$$

— pentru scurtcircuit în punctul k_5 :

$$x_{ck5*} = x_{k5*}\frac{S_{cb}}{S_b} = 1{,}578\,\frac{31{,}2}{100} = 0{,}492.$$

Scurtcircuit în punctul k_1 :

— tensiunea de bază, $U_b = U_1 = 6{,}3$ kV ;

— curentul de bază de calcul se obține cu ajutorul relației (20.30) :

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\,U_b} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\,U_1} = \frac{31{,}2}{1{,}73 \cdot 6{,}3} = \frac{31{,}2}{10{,}9} = 2{,}86 \text{ kA}\,;$$

— reactanța de calcul, $x_{ck1*} = 0{,}129$.

Din curbele de calcul pentru generatoare cu poli înecați cu regulator automat de tensiune (fig. 20—10) se găsesc pentru $x_{ck1} = 0{,}129$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit :

pentru $t = 0$ ... $I_{kpo*} = 7{,}5$;
pentru $t = 0{,}2$ s ... $I_{kpo,2*} = 4{,}6$;
pentru $t = \infty$ ... $I_{kp\infty*} = 2{,}75$;

— curentul supratranzitoriu :

$$I'' = I_{cb}\,I_{kpo*} = 2{,}86 \cdot 7{,}5 = 21{,}4 \text{ kA}\,;$$

— curentul de șoc:

$$i_{șoc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 21{,}4 = 54{,}6 \text{ kA};$$

— valoarea eficace a curentului de șoc:

$$i_{șoc} = 1{,}52 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 21{,}4 = 32{,}5 \text{ kA};$$

— curentul de scurtcircuit după 0,2 s:

$$I_{k0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2*} = 2{,}86 \cdot 4{,}6 = 13{,}15 \text{ kA};$$

— curentul permanent de scurtcircuit:

$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*} = 2{,}86 \cdot 2{,}75 = 7{,}86 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_2:

— tensiunea de bază, $U_b = U_2 = 115$ kV;

— curentul de bază de calcul:

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\, U_b} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\, U_3} = \frac{31{,}2}{1{,}73 \cdot 115} = \frac{31{,}2}{198{,}95} = 0{,}157 \text{ kA};$$

— reactanța de calcul, $x_{ck2*} = 0{,}233$.

Din curbele de calcul pentru generatoare cu poli înecați prevăzute cu RAT (fig. 20—10) se găsesc pentru $x_{ck2*} = 0{,}233$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ ... $I_{kp0*} = 4{,}4$;
pentru $t = 0{,}2$ s ... $I_{kp0,2*} = 3{,}1$;
pentru $t = \infty$ ... $I_{kp\infty*} = 2{,}45$;

— curentul supratranzitoriu:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{kp0*} = 0{,}157 \cdot 4{,}4 = 0{,}69 \text{ kA};$$

— curentul de șoc:

$$i_{șoc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 0{,}69 = 1{,}05 \text{ kA};$$

— curentul de scurtcircuit după 0,2 s:

$$I_{k0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2*} = 0{,}157 \cdot 3{,}1 = 0{,}486 \text{ kA};$$

— curentul permanent de scurtcircuit:

$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*} = 0{,}157 \cdot 2{,}45 = 0{,}385 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_3:

— tensiunea de bază, $U_b = U_2 = 115$ kV;

— curentul de bază de calcul, $I_{cb} = 0{,}157$ kA (având aceeași tensiune de bază $U_b = U_2$, ca și la scurtcircuitul în punctul k_2):

— reactanța de calcul $x_{ck3*} = 0{,}28$;

Din curbele de calcul (fig. 20—10) se găsesc pentru $x_{ck3} = 0{,}28$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

$$\text{pentru } t = 0 \ldots \quad I_{kp0*} = 2{,}05;$$
$$\text{pentru } t = 0{,}2\,\text{s} \ldots \quad I_{kp0{,}2*} = 1{,}65;$$
$$\text{pentru } t = \infty \ldots \quad I_{kp\infty*} = 1{,}85;$$

— curentul supratranzitoriu:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{kp0*} = 2{,}86 \cdot 2{,}05 = 5{,}85 \text{ kA};$$

— curentul de șoc:

$$i_{șoc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 5{,}85 = 14{,}9 \text{ kA};$$

— curentul de scurtcircuit după 0,2 *s*:

$$I_{k0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2*} = 2{,}86 \cdot 1{,}65 = 4{,}72 \text{ kA};$$

— curentul permanent de scurtcircuit:

$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*} = 2{,}86 \cdot 1{,}85 = 5{,}28 \text{ kA}.$$

CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT CU AJUTORUL CURBELOR DE CALCUL LA GENERATOARE CU POLI ÎNECAȚI ȘI FĂRĂ RAT

Exemplul de calcul 20—5. Să se determine, cu ajutorul curbelor de calcul:
— curentul supratranzitoriu I'';
— curentul de șoc $i_{șoc}$ și valoarea sa eficace $I_{șoc}$;
— curentul de scurtcircuit după 0,2 *s* ($I_{k0,2}$);
— curentul permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$.

Se consideră punctele de scurtcircuit k_1, k_2, k_3, k_4 și k_5 ale schemei din figura 20—3 cunoscînd că generatorul *1* este cu poli înecați și nu are regulator automat de tensiune.

Se folosesc următoarele date din exemplul de calcul 20—4:

— puterea de bază de calcul $S_{cb} = 31{,}2$ MVA;
— curenții de bază de calcul:
$I_{cb} = 2{,}86$ kA pentru punctele k_1 și k_2;
$I_{cb} = 0{,}157$ kA pentru punctele k_2 și k_3;
$I_{cb} = 0{,}488$ kA pentru punctul k_4;
— reactanțele de calcul pentru toate punctele de scurtcircuit: $x_{ck1_*} = 0{,}129$; $x_{ck2_*} = 0{,}233$; $x_{ck3_*} = 0{,}28$; $x_{ck4_*} = 0{,}389$; $x_{ck5_*} = 0{,}492$.

Scurtcircuit în punctul k_1:

$$U_b = U_1 = 6{,}3 \text{ kV}$$
$$I_{cb} = 2{,}86 \text{ kA};$$
$$x_{ck1_*} = 0{,}129.$$

Din curbele de calcul pentru generatoare cu poli înecați fără regulatoare automate de tensiune (fig. 20—11) se găsesc pentru $x_{ck_{1*}}$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit.

pentru $t = 0$ ... $I_{kpo_*} = 7{,}5$;
pentru $t = 0{,}2$ s ... $I_{kp0{,}2_*} = 4{,}6$;
pentru $t = \infty$ ... $I_{kp\infty_*} = 1{,}55$.

Se calculează curenții în punctul k_1:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{kpo_*} = 2{,}86 \cdot 7{,}5 = 21{,}4 \text{ kA};$$
$$i_{soc} = 255 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 21{,}4 = 54{,}6 \text{ kA};$$
$$I_{soc} = 152 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 21{,}4 = 32{,}5 \text{ kA};$$
$$I_{k0{,}2} = I_{cb} \cdot I_{kp0{,}2_*} = 2{,}86 \cdot 4{,}6 = 13{,}1 \text{ kA};$$
$$I_{k\infty} = I_{cb}\, I_{kp\infty_*} = 2{,}86 \cdot 1{,}55 = 4{,}44 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_2:

$$U_b = U_2 = 115 \text{ kV};$$
$$I_{cb} = 0{,}157 \text{ kA};$$
$$x_{ck2_*} = 0{,}233.$$

Din curbele de calcul (fig. 20—11) se găsesc pentru $x_{ck2_*} = 0{,}233$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ . . . $I_{kpo_*} = 4{,}4$;
pentru $t = 0{,}2$ s ... $I_{kp0{,}2_*} = 3{,}1$;
pentru $t = \infty$ ... $I_{kp\infty_*} = 1{,}4$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k_2:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{kpo_*} = 0{,}157 \cdot 4{,}4 = 0{,}69 \text{ kA};$$
$$i_{soc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 0{,}69 = 1{,}75 \text{ kA};$$
$$I_{soc} = 1{,}52 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 0{,}69 = 1{,}05 \text{ kA};$$
$$I_{k0{,}2} = I_{cb} \cdot I_{kp0{,}2_*} = 0{,}157 \cdot 3{,}1 = 0{,}486 \text{ kA};$$
$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty_*} = 0{,}157 \cdot 1{,}4 = 0{,}22 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_3:

$$U_b = U_2 = 115 \text{ kV};$$
$$I_{cb} = 0{,}157 \text{ kA};$$
$$x_{ck3_*} = 0{,}28.$$

Din curbele de calcul (fig. 20—11) se găsesc pentru $x_{ck3_*} = 0{,}28$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ . . . $I_{kp0_*} = 3{,}5$;
pentru $t = 0{,}2$ s ... $I_{kp0{,}2_*} = 2{,}6$;
pentru $t = \infty$ ... $I_{kp\infty_*} = 1{,}35$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k_3:

$$I'' = I_{cb} I_{kp0_*} = 0{,}157 \cdot 3{,}5 = 0{,}55 \text{ kA};$$
$$i_{soc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 0{,}55 = 1{,}4 \text{ kA};$$
$$I_{soc} = 1{,}52 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 0{,}55 = 0{,}836 \text{ kA};$$
$$I_{k0,2} = I_{cb} I_{kp0,2_*} = 0{,}157 \cdot 2{,}6 = 0{,}408 \text{ kA};$$
$$I_{k\infty} = I_{cb} I_{kp\infty *} = 0{,}157 \cdot 1{,}35 = 0{,}212 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_4:

$$U_b = U_3 = 37 \text{ kV};$$
$$I_{cb} = 0{,}488 \text{ kA};$$
$$x_{ck4_*} = 0{,}389.$$

Din curbele de calcul (fig. 20—11) se găsesc pentru $x_{ck4_*} = 0{,}389$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ . . . . . $I_{kp0_*} = 2{,}55$;
pentru $t = 0{,}2$ s . . . $I_{kp0,2_*} = 2$;
pentru $t = \infty$ . . . $I_{kp\infty_*} = 1{,}18$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k_4:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{kp0_*} = 0{,}488 \cdot 2{,}55 = 1{,}24 \text{ kA};$$
$$i_{soc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 1{,}24 = 3{,}16 \text{ kA};$$
$$I_{soc} = 1{,}52 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 1{,}24 = 1{,}88 \text{ kA};$$
$$I_{k0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2_*} = 0{,}488 \cdot 2 = 0{,}976 \text{ kA};$$
$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty_*} = 0{,}488 \cdot 1{,}18 = 0{,}57 \text{ kA}.$$

Scurtcircuit în punctul k_5:

$$U_b = U_1 = 6{,}3 \text{ kV};$$
$$I_{cb} = 2{,}86 \text{ kA};$$
$$x_{ck5_*} = 0{,}492.$$

Din curbele de calcul (fig. 20—11) se găsesc pentru $x_{ck5_*} = 0{,}492$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ . . . . $I_{kp0_*} = 2$;
pentru $t = 0{,}2$ s . . . $I_{kp0,2_*} = 1{,}65$;
pentru $t = \infty$ . . . $I_{kp\infty_*} = 1{,}05$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k_5:

$$I'' = I_{cb} \cdot I_{cp0_*} = 2{,}86 \cdot 2 = 5{,}71 \text{ kA};$$
$$i_{soc} = 2{,}55 \; I'' = 2{,}55 \cdot 5{,}71 = 14{,}6 \text{ kA};$$
$$I_{soc} = 1{,}52 \; I'' = 1{,}52 \cdot 5{,}71 = 8{,}67 \text{ kA};$$
$$I_{k0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2_*} = 2{,}86 \cdot 1{,}65 = 4{,}72 \text{ kA};$$
$$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty_*} = 2{,}86 \cdot 1{,}05 = 3 \text{ kA}.$$

CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT CU AJUTORUL CURBELOR DE CALCUL LA GENERATOARE CU POLI APARENȚI

Exemplul de calcul 20—6. Să se determine, cu ajutorul curbelor de calcul, curenții I''; $i_{şoc}$; $I_{şoc}$; $I_{k\,0,2}$ și $I_{k\infty}$, în punctul de scurtcircuit din schema din figura 20—4, cunoscînd că generatoarele *1* și *2* au poli aparenți și sînt prevăzute cu regulatoare automate de tensiune.

Rezultă deci următoarele date ale problemei:

$S_{cb} = 25 + 31{,}25 = 56{,}25$ MVA;

$$U_b = 10{,}5 \text{ kV};$$

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}\cdot U_b} = \frac{56{,}25}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 3{,}09 \text{ kA};$$

$$x_{ck_*} = x_{k_*} = \frac{S_{cb}}{S_b} = 1{,}515\,\frac{56{,}25}{100} = 0{,}85.$$

Din curbele de calcul pentru generatoare cu poli aparenți prevăzute cu regulatoare automate de tensiune (fig. 20—12) se găsesc pentru $x_{ck_*} = 0{,}85$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$ . . . . $I_{kp0*} = 1{,}23$;

pentru $t = 0{,}2$ s . . . $I_{kp\,0,2*} = 1{,}119$;

pentru $t = \infty$ . . . $I_{kp\infty_*} = 1{,}51$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k:

$I'' = I_{cb}\, I_{kp0*} = 3{,}09 \cdot 1{,}23 = 3{,}8$ kA;

$i_{şoc} = 2{,}55 \quad I'' = 2{,}55 \cdot 3{,}8 = 9{,}7$ kA;

$I_{şoc} = 1{,}52 \quad I'' = 1{,}52 \cdot 3{,}8 = 5{,}78$ kA;

$I_{k\,0,2} = I_{cb} \cdot I_{kp0,2_*} = 3{,}09 \cdot 1{,}19 = 3{,}68$ kA;

$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*} = 3{,}09 \cdot 1{,}51 = 4{,}66$ kA.

Exemplul 20—7. Să se determine cu ajutorul curbelor de calcul curenții I'', $i_{şoc}$, $I_{şoc}$, $I_{k\,0,2}$ și $I_{k\infty}$ în punctul de scurtcircuit din schema din figura 20—4, cunoscînd că generatoarele *1* și *2* au poli aparenți și nu sînt prevăzute cu regulatoare de tensiune.

Datele problemei sînt aceleași ca în exemplul 20—6:

$S_{cb} = 56{,}25$ MVA;

$U_b = 10{,}5$ kV;

$I_{cb} = 3{,}09$ kA;

$x_{ck_*} = 0{,}85$.

Din curbele de calcul pentru generatoare cu poli aparenți fără regulatoare automate (fig. 20—13) se găsesc pentru $x_{ck*} = 0{,}85$ următoarele valori relative ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit:

pentru $t = 0$. . . . . $I_{kp0*} = 1{,}24$;

pentru $t = 0{,}2$ s . . . $I_{kp\,0{,}2*} = 1{,}18$;

pentru $t = \infty$ . . . $I_{kp\infty*} = 0{,}95$.

Se calculează curenții de scurtcircuit în punctul k:

$I'' = I_{cb}\ I_{kp0*} = 3{,}09 \cdot 1{,}24 = 3{,}83$ kA;

$i_{soc} = 2{,}55 \cdot I'' = 2{,}55 \cdot 3{,}83 = 9{,}77$kA;

$I_{soc} = 1{,}52 \cdot I'' = 1{,}52 \cdot 3{,}83 = 5{,}82$ kA;

$I_{k\,0{,}2} = I_{cb} \cdot I_{kp\,0{,}2*} = 3{,}09 \cdot 1{,}18 = 3{,}65$ kA;

$I_{k\infty} = I_{cb} \cdot I_{kp\infty*} = 3{,}09 \cdot 0{,}95 = 2{,}93$ kA.

EFECTELE ELECTRODINAMICE ALE CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT ASUPRA BARELOR ȘI IZOLATOARELOR

Valurile de șoc ale curenților de scurtcircuit pot provoca, datorită eforturilor electrodinamice exercitate asupra barelor colectoare și asupra izolatoarelor acestor bare, deteriorarea lor. Pentru a preîntîmpina aceste efecte nedorite este necesară verificarea prin calcul a barelor colectoare și a izolatoarelor, stabilindu-se astfel rezistența lor la forțele electrodinamice.

Cînd barele colectoare sînt dispuse în același plan, efortul maxim apare în faza de mijloc. Pentru verificarea la stabilitate electrodinamică a barelor colectoare și a izolatoarelor de susținere se ia în considerație efortul maxim. Acesta fiind generat de curentul de șoc i_{soc}, se notează F_{soc}. Mărimea efortului maxim, în kgf, este dată de următoarea relație:

$$F_{soc} = 1{,}76\ k_f i_{soc}^2 \frac{l}{a} 10^{-2}\ \text{kgf}, \qquad (20.39)$$

în care: k_f este factorul de formă, care depinde de forma secțiunii barelor colectoare și de distanța dintre ele;

i_{soc} — curentul de șoc maxim care ar putea circula prin barele colectoare, în kA;

l — lungimea barei colectoare între două izolatoare de susținere, în cm;

a — distanța dintre axele barelor colectoare, în cm.

În cazul barelor colectoare cu secțiune dreptunghiulară, factorul de formă k_f se determină cu ajutorul curbelor din figura 20—14, cunoscînd h (înălțimea secțiunii barei colectoare), b (lățimea secțiunii barei) și a (distanța între axele barelor colectoare). Factorul de formă din figura 20—14 se determină în felul următor: se calculează raportul $\frac{a-b}{b+h}$; valoarea acestui raport reprezintă un punct în abscisa graficului. Din acest punct se ridică o perpendiculară, care intersectează curbele $m\left(m=\frac{b}{h}\right)$. Din punctul de intersecție al perpendicularei cu curba m se duce o paralelă la abscisă, care întîlnește ordonata la valoarea lui k_f căutat. Cînd dimensiunile secțiunii barei sînt mici față de distanța dintre axele barelor, se ia pentru factorul de formă valoarea egală cu unitatea ($k_f = 1$).

Verificarea izolatoarelor-suport la eforturile electrodinamice se face cu ajutorul relației

$$F_{șoc} \leqslant 0{,}6\ Fr_{iz} \text{ kgf}, \tag{20.40}$$

în care: $F_{șoc}$ este efortul maxim calculat la valoarea maximă a curentului de șoc care apare în barele susținute de izolatorul respectiv, în kgf;

Fr_{iz} — efortul la care se rupe izolatorul (este dat în cataloage, în kgf);

0,6 — un coeficient de siguranță.

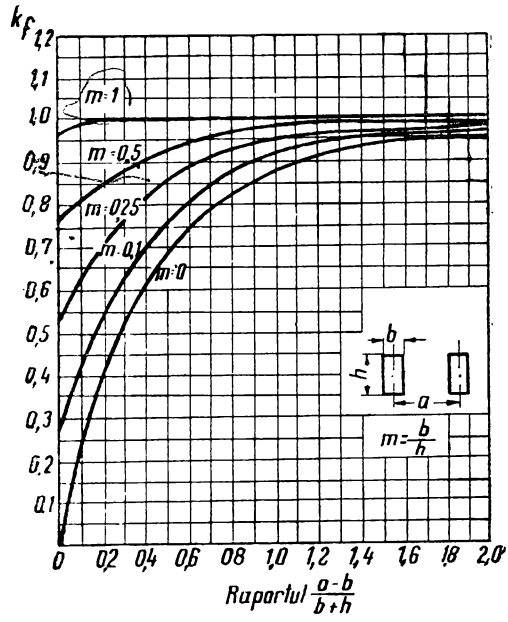


Fig. 20—14. Curbele pentru determinarea factorului de formă al barelor cu secțiune dreptunghiulară.

Verificarea izolatoarelor de trecere și de capăt la eforturile electrodinamice se face cu ajutorul relației

$$F_{șoc} \leqslant 1{,}2Fr_{iz} \text{ kgf.} \tag{20.41}$$

Întrebări recapitulative

1. Ce este efortul electrodinamic maxim și cum se determină el în cazul barelor colectoare și al izolatoarelor-suport?
2. Ce este factorul de formă al barelor colectoare și cum se determină el?

VERIFICAREA BARELOR COLECTOARE LA STABILITATE ELECTRODINAMICĂ

Verificarea barelor la eforturile electrodinamice se face cu ajutorul relației

$$\sigma_B^{k} \leqslant \sigma_{adm}, \tag{20.42}$$

în care: σ_B este efortul unitar la încovoiere care se dezvoltă în bare în kgf/cm²;

σ_{adm} — efortul unitar admisibil la încovoiere (pentru cupru $\sigma_{adm} = 1\,400$ kgf/cm², pentru aluminiu $\sigma_{adm} = 700$ kgf/cm², pentru oțel $\sigma_{adm} = 1\,600$ kgf/cm²).

Efortul unitar σ_B se determină cu relația

$$\sigma_B = \frac{M}{W}, \tag{20.43}$$

în care: M este momentul încovoietor maxim care acționează în bare datorită curentului de șoc, în kgf·cm;

W — modulul de rezistență al barelor, exprimat în cm³.

În cazul cînd barele au una sau două deschideri, momentul încovoietor maxim are valoarea

$$M = \frac{F_{șoc} \cdot l}{8}, \tag{20.44}$$

l fiind distanța dintre izolatoare.

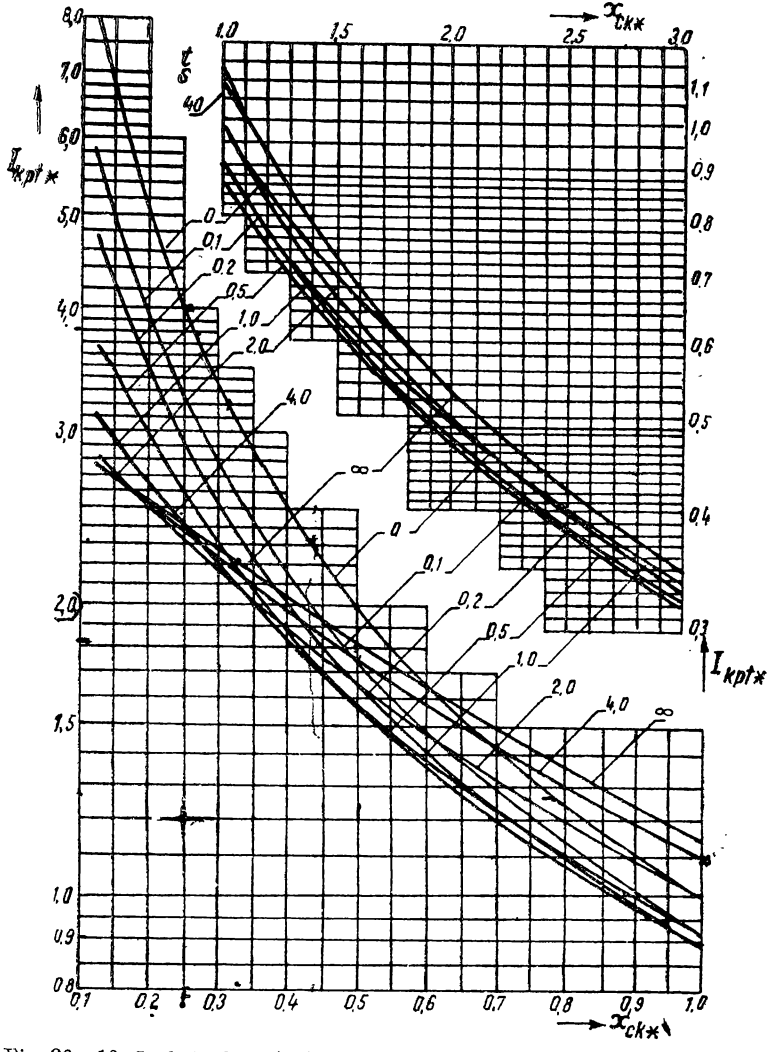


Fig. 20—10. Curbele de calcul pentru generatoare cu poli înecați prevăzute cu RAT.

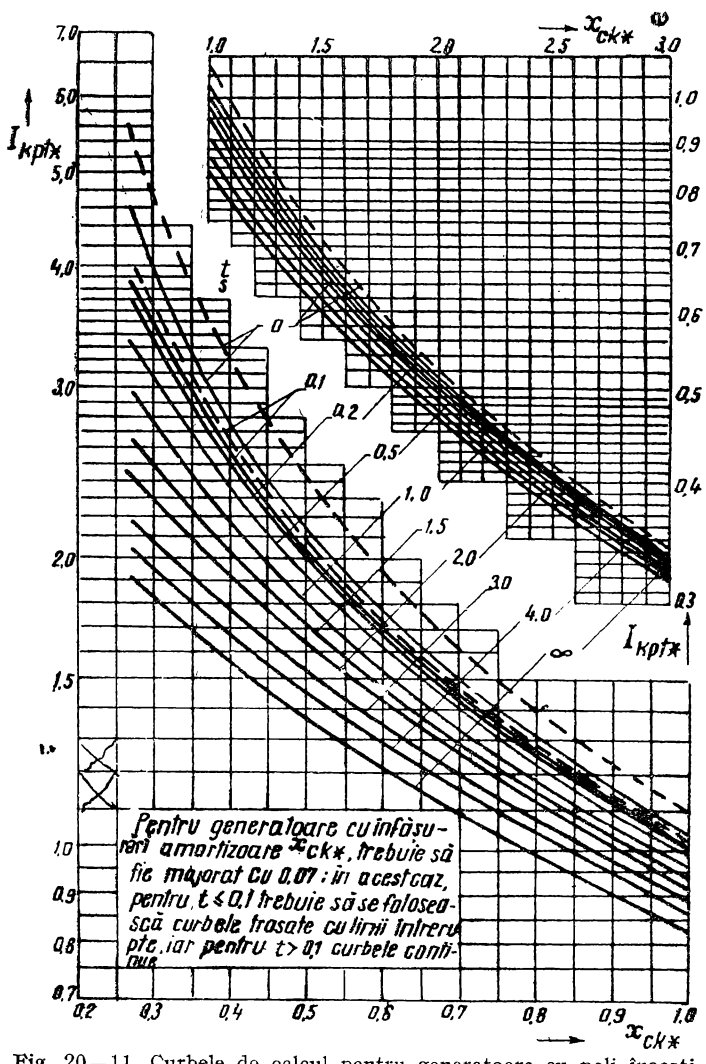


Fig. 20—11. Curbele de calcul pentru generatoare cu poli înecați fără RAT.

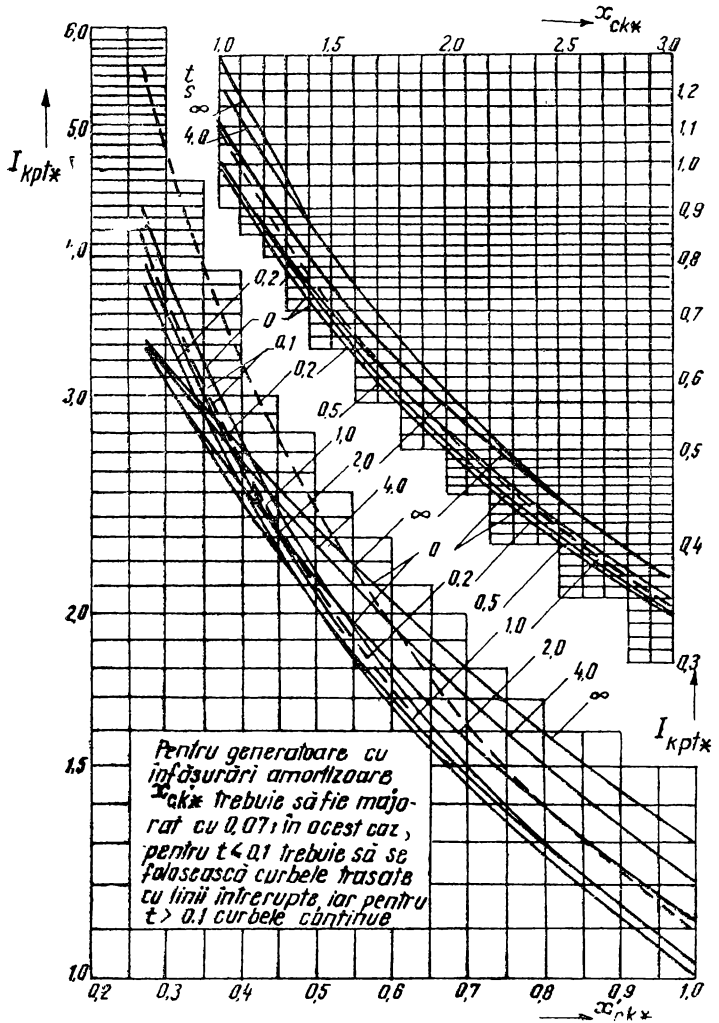


Fig. 20—12. Curbele de calcul pentru generatoare cu poli aparenți prevăzute cu RAT.

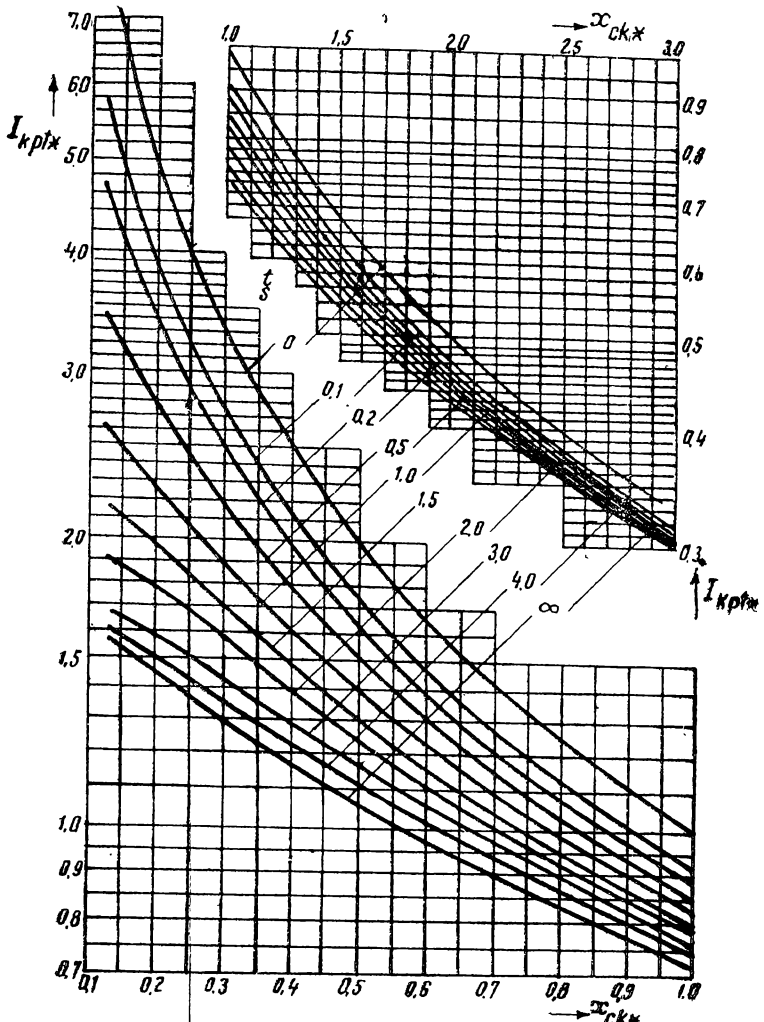


Fig. 20—13. Curbele de calcul pentru generatoare cu poli aparenți fără RAT.

Cînd barele au mai mult de două deschideri, în momentul încovoietor maxim are valoarea

$$M = \frac{F_{soc}\, l}{10}. \tag{20.45}$$

Modulul de rezistență W al barelor depinde de felul de așezare a barelor și de forma secțiunii (fig. 20—15), astfel :

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \tag{20.46}$$

cînd barele dreptunghiulare sînt așezate ca în figura 20—15, *a* ;

$$W = \frac{b^2 h}{6}, \tag{20.47}$$

cînd barele dreptunghiulare sînt așezate ca în figura 20—15, *b* ;

$$W = 0{,}1\ d^3 \tag{20.48}$$

pentru bare masive de secțiune circulară, d fiind diametrul secțiunii barei, în cm ;

$$W = \frac{0{,}1(D^4 - d^4)}{D}, \tag{20.49}$$

pentru bare tubulare, d fiind diametrul interior, iar D diametrul exterior al secțiunii barei, în cm.

Întrebări recapitulative

1. Ce se înțelege prin efort unitar și efort unitar admisibil ?
2. De cine depinde valoarea modulului de rezistență a barelor și în ce se exprimă el ?

Exemplul de calcul 20—8. Să se verifice la stabilitate electrodinamică, în caz de scurtcircuit în punctul k_1, barele colectoare și izolatoarele-suport ale unei stații de 6 kV, avînd schema de calcul din figura 20—3. Generatorul *1* are poli înecați și este prevăzut cu regulator automat de tensiune. Barele sînt confecționate din cupru și sînt așezate ca în figura 20—16.

Dimensiunile secțiunii sînt : înălțimea, $h = 10$ cm ; lățimea, $b = 1$ cm ; distanța dintre axele barelor, $a = 30$ cm ; distanța dintre izolatoarele de susținere, $l = 120$ cm.

Izolatoarele sînt de tipul SA—6, avînd efortul de rupere $Fr_{iz} = 375$ kgf.

Barele colectoare au mai mult de două deschideri.

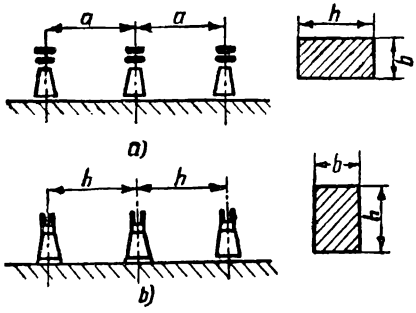


Fig. 20—15. Diferite moduri de așezare a barelor pe izolatoare.

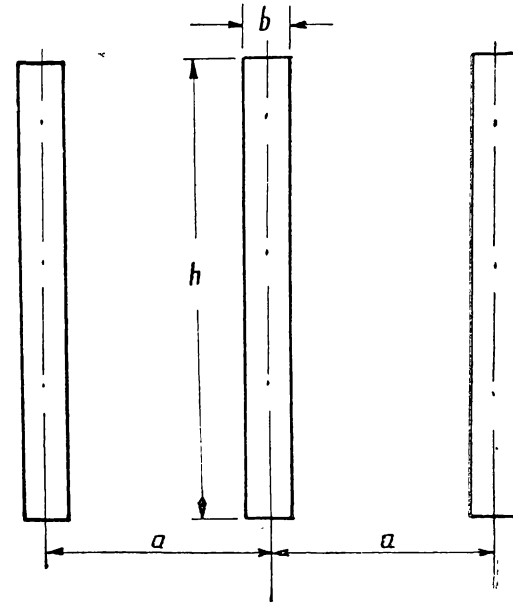


Fig. 20—16. Dimensiunile și așezarea barelor pentru exemplul 20—8.

Curentul de șoc în barele colectoare pentru scurtcircuit în punctul k_1, în cazul cînd generatorul care debitează la locul de scurtcircuit are poli înecați și este prevăzut cu regulator automat de tensiune, a fost calculat în exemplul 20—4 :

$$i_{șoc} = 54{,}6 \text{ kA}.$$

Pentru verificarea izolatoarelor-suport se folosesc relațiile (20.41) și (20.39) :

$$F_{șoc} \leqslant 0{,}6 F_{r_{iz}} = 0{,}6 \cdot 375 = 225 \text{ kgf};$$

$$F_{șoc} = 1{,}76 \; k_f \; i^2_{șoc} \frac{l}{a} 10^{-2} \text{ kgf}.$$

Se cunosc mărimile : $i_{șoc} = 54{,}6$ kA ; $l = 120$ cm ; $a = 30$ cm.

Factorul de formă k_f se determină cu ajutorul graficului din figura 20—14, după care se efectuează rapoartele :

$$\frac{a - b}{b + h} = \frac{30 - 1}{1 + 10} = \frac{29}{11} = 2{,}64;$$

$$m = \frac{b}{h} = \frac{1}{10} = 0{,}1.$$

Conform diagramei din figura 20—14 se obține $k_f = 1$. Deci,

$$F_{șoc} = 1{,}76 \cdot 1{,}00 \cdot 2\,981{,}16 \cdot \frac{120}{30} 10^{-2} = 209{,}87 \text{ kgf} < 225 \text{ kgf}.$$

Rezultă că izolatoarele SA—6 sînt stabile din punct de vedere electrodinamic.

Pentru verificarea barelor colectoare cu relația (20.42) se cunoaște efortul unitar admisibil σ_{adm} (pentru cupru $\sigma_{adm} = 1\,400$ kgf/cm^2), deci trebuie determinat efortul unitar de încovoiere σ_B care se dezvoltă în bare.

Momentul încovoietor maxim în bare, cînd sînt mai multe deschideri, conform relației (20.45) este

$$M = \frac{F_{soc} l}{10} = \frac{209{,}87 \cdot 120}{10} = 2\,518 \text{ kgf} \cdot \text{cm}.$$

Modulul de rezistență al barelor este :

$$W = \frac{b^2 h}{6} = \frac{1^2 \cdot 10}{6} = 1{,}67 \text{ cm}^3.$$

Rezultă :

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = \frac{2\,518}{1{,}67} = 1\,508 \text{ kgf/cm}^2;$$

deci 1 508 kgf/cm^2 > 1 400 kgf, adică $\sigma_B > \sigma_{adm}$, deci barele nu corespund din punct de vedere al stabilității electrodinamice.

O modalitate de a micșora efortul unitar la încovoierea (σ_B) care se dezvoltă în bare este de a mări valoarea modulului de rezistență W. Aceasta se realizează, în cazul de față, prin schimbarea așezării barelor.

În cazul așezării lor ca în figura 20—15, *a* (pe lat) rezultă :

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{1 \times 10^2}{6} = 16{,}7 \text{ cm}^3;$$

— efortul maxim calculat la valoarea maximă a curentului de șoc (F_{soc}) își păstrează aceeași valoare : $F_{soc} = 209{,}87$ kgf ;

— de asemenea, momentul încovoietor maxim în bare (M) își păstrează aceeași valoare : $M = 2518$ kgf·cm ;

— efortul unitar la încovoiere care se va dezvolta în bare (σ_B) în cazul respectiv va fi

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = \frac{2\,518}{16{,}7} = 150{,}8 \text{ kgf/cm}^2.$$

Rezultă :

$$150{,}8 \text{kgf/cm}^2 < 1\,400 \text{ kg/cm}^2, \text{ adică}$$

$$\sigma_B < \sigma_{adm},$$

deci, în cazul așezării barelor (în exemplul de față) pe lat ele vor corespunde din punct de vedere al stabilității electrodinamice.

EFECTELE TERMICE ALE CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

În regimul normal de funcționare, cînd prin conductoarele unei instalații electrice circulă curentul nominal de sarcină, acestea se încălzesc pînă la o temperatură θ_n, care rămîne constantă atît timp cît curentul I_n rămîne constant.

Dacă în instalație se produce un scurtcircuit, prin conductoarele instalației circulă curentul de scurtcircuit I_k, mult mai mare decît curentul nominal. Temperatura la care ajung conductoarele în acest caz se notează cu θ_k și nu trebuie să depășească temperatura maximă admisibilă θ_{adm}.

Condiția de stabilitate termică a conductoarelor este deci:

$$\theta_k \leqslant \theta_{mad}. \tag{20.50}$$

Temperaturile maxime admisibile θ_{adm} ale diferitelor elemente de circuit pentru regim de scurtcircuit sînt cuprinse între 150—350° C. Exemplu: bare de aluminiu, 150°C; bare de cupru, 250° C; bare de oțel legate la aparate prin metale conductoare neferoase, 350° C; cabluri cu conductoare de cupru și izolație de hîrtie pînă la 15 kV inclusiv, 200° C; cabluri și conductoare cu izolație de cauciuc, 150° C etc.

Cu ajutorul graficului din figura 20—17 se determină temperatura de scurtcircuit (în ordonată), în funcție de felul materialului (cele trei curbe trasate în grafic pentru cupru, aluminiu și oțel) și în funcție de coeficientul A. Coeficientul corespunzător temperaturii de scurtcircuit se notează cu A_k, iar cel corespunzător temperaturii de regim normal se notează cu A_n. Pentru determinarea lui A_k se folosește relația:

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_{k\infty}}{s}\right)^2 t_f. \tag{20.51}$$

Coeficientul A_n se determină din grafic astfel: se găsește în ordonată punctul corespunzător valorii θ_n; ducînd o orizontală cu piciorul în θ_n, aceasta intersectează într-un punct curba materialului din care este făcut conductorul. Din acel punct se duce o paralelă la ordonată, care va intersecta abscisa în punctul A_n.

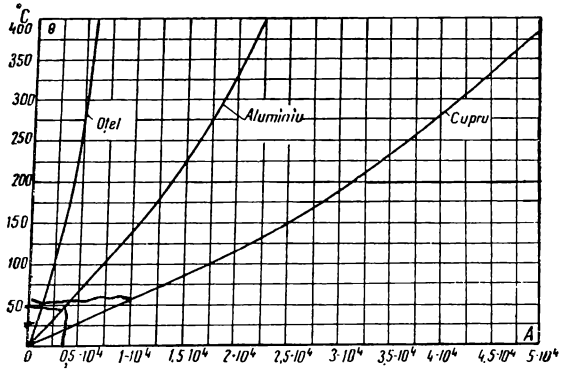


Fig. 20—17. Curbele pentru determinarea temperaturii conductoarelor în regim de scurtcircuit.

Mai sînt necesare următoarele date :

$I_{k\infty}$ — curentul permanent de scurtcircuit, în amperi ;

s — secțiunea conductorului, în mm² ;

t_f — timpul fictiv, în secunde.

Timpul fictiv t_f este timpul în care, dacă curentul de scurtcircuit ar avea o valoare constantă egală cu $I_{k\infty}$, ar produce aceeași încălzire ca și în cazul real (cînd I_k variază în timp). Timpul fictiv se compune din timpul fictiv periodic și timpul fictiv aperiodic :

$$t_f = t_{fp} + t_{fa}. \tag{20.52}$$

Timpul fictiv aperiodic este dat de relația

$$t_{fa} = 0{,}05\ (\beta'')^2, \tag{20.53}$$

în care β'' este raportul între curentul supratranzitoriu și curentul permanent de scurtcircuit :

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{k\infty}}. \tag{20.54}$$

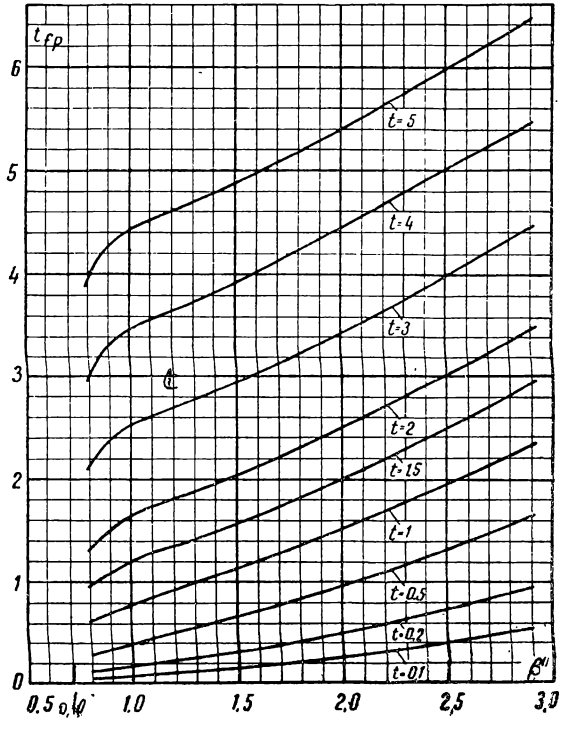


Fig. 20—18. Curbele pentru determinarea timpului fictiv al componentei periodice a curentului de scurtcircuit pentru generatoare prevăzute cu RAT.

Timpul fictiv periodic t_{fp} se determină din graficul din figura 20—18, în funcție de valoarea β'' și pentru diferite curbe ale valorii timpului t de acțiune a scurtcircuitului.

Timpul de acțiune a scurtcircuitului t se determină prin însumarea timpului de acționare a protecției t_{prot} și timpului de acționare a întrerupătorului t_{intr}, care deconectează curentul de scurtcircuit:

$$t = t_{prot} + t_{intr}. \tag{20.55}$$

Cu aceste valori se poate calcula expresia:

$$\left(\frac{I_{k\infty}}{s}\right)^2 t_f$$

din relația 20—51 și se poate calcula A_k, respectiv θ_k. Dacă această valoare satisface relația 20.50, se confirmă stabilitatea termică a conductorului studiat.

VERIFICAREA LA STABILITATE TERMICĂ A BARELOR ELECTRICE

Exemplul 20—9. Prin barele colectoare dreptunghiulare de cupru cu secțiunea de 5×50 mm $= 250$ mm^2 ale unei stații electrice în regim normal de funcționare circulă curentul I_n; acesta încălzește barele pînă la temperatura constantă $\theta_n = 65$ °C.

Dacă se cunoaște curentul supratranzitoriu și curentul permanent de scurtcircuit $I'' = 50$ kA și $I_{k\infty} = 25$ kA se cere să se verifice stabilitatea termică a acestor bare colectoare.

Timpul de acționare a întrerupătorului care deconectează scurtcircuitul de la bare este $t_{intr} = 0{,}2$ s.

Timpul de acționare a protecției prin relee este $t_{prot} = 1{,}3$ s.

Temperatura maximă admisibilă pentru bare de cupru este $\theta_{adm} = 250$ °C, deci condiția pentru stabilitatea termică a barelor este

$$\theta_k \leqslant \theta_{adm} = 250\,°C.$$

Conform relației 20.55, timpul de acțiune a scurtcircuitului este

$$t = t_{prot} + t_{intr} = 1{,}3 + 0{,}2 = 1{,}5 \text{ s}.$$

Raportul β'' se calculează conform relației (20.54)

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{k\infty}} = \frac{50}{25} = 2.$$

Pentru $\beta'' = 2$ și $t = 1{,}5$ s rezultă, după graficul din figura 20—18, valoarea timpului fictiv periodic t_{fp}:

$$t_{fp} = 2 \text{ s}.$$

Timpul fictiv aperiodic t_{fa}, conform relației 20.53, este

$$t_{fa} = 0{,}05\ (\beta'')^2 = 0{,}05 \cdot 2^2 = 0{,}2\ \text{s}.$$

Timpul fictiv t_f rezultă din relația (20.52) :

$$t_f = t_{fp} + t_{fa} = 2 + 0{,}2 = 2{,}2\ \text{s}.$$

Se calculează expresia :

$$\left(\frac{I_k}{s}\right)^2 t_f = \left(\frac{25\,000}{250}\right)^2 2{,}2 = 2{,}2 \cdot 10^4.$$

Cunoscînd temperatura $\theta_n = 65\,°\text{C}$ și că barele sînt de cupru, din grafic (fig. 20—17) se determină A_n,

$$A_n = 1{,}15 \cdot 10^4.$$

Cu ajutorul relației 20.51 se calculează coeficientul A_k :

$$A_k = 1{,}15 \cdot 10^4 + 2{,}2 \cdot 10^4 = 3{,}35 \cdot 10^4$$

și din grafic rezultă temperatura de scurtcircuit,

$$\theta_k = 215\,°\text{C}.$$

Rezultă că barele studiate satisfac condiția de stabilitate termică (20—50) $\theta_k < \theta_{adm}$, deoarece $215\,°\text{C} < 250\,°\text{C}$.

VERIFICAREA LA STABILITATE TERMICĂ A CABLURILOR ELECTRICE

Exemplul 20—10. Un cablu electric subteran cu izolația de hîrtie, de 35 kV și cu secțiunea de $3 \times 150\ \text{mm}^2$ din cupru se încălzește în regim normal de funcționare la o temperatură constantă

$$\theta_n = 65\,°\text{C}.$$

Dacă se cunoaște curentul supratranzitoriu I'' și curentul permanent de scurtcircuit $I_{k\infty}$, în cazul scurtcircuitului cel mai dezavantajos pentru cablul electric, se cere să se verifice stabilitatea termică a acestuia :

$$I'' = 25\ \text{kA};$$

$$I_{k\infty} = 12{,}5\ \text{kA}.$$

Timpul de acționare al întrerupătorului care deconectează scurtcircuitul :

$$t_{într} = 0{,}2\ \text{s}.$$

Timpul de acționare prin relee :

$$t_{prot} = 0{,}8\ \text{s}.$$

Temperatura maximă admisibilă θ_{adm} pentru cabluri cu izolația de hîrtie de 35 kV este :

$$\theta_{adm} = 125\,°C.$$

Deci condiția pentru stabilitatea termică a cablului este :

$$\theta_k \leqslant \theta_{adm} = 125\,°C.$$

Conform relației 20.55, timpul t de acționare al scurtcircuitului este :

$$t = t_{prot} + t_{într} = 0{,}8 + 0{,}2 = 1 \text{ s}.$$

Raportul (β'') se calculează conform relației 20.54 :

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{k\,\infty}} = \frac{25}{12{,}5} = 2.$$

Pentru $\beta'' = 2$ și $t = 1$ s rezultă, din figura 20—18, valoarea timpului fictiv periodic (t_{fp}) :

$$t_{fp} = 1{,}5 \text{ s}.$$

Timpul fictiv aperiodic (t_{fa}) se obține conform relației 20.53 :

$$t_{fa} = 0{,}05\ (\beta'')^2 = 0{,}05 \cdot 2^2 = 0{,}2 \text{ s}.$$

Timpul fictiv (t_f) rezultă din relația 20 • 52 :

$$t_f = t_{fp} + t_{fa} = 1{,}5 + 0{,}2 = 1{,}7 \text{ s}.$$

Se calculează expresia :

$$\left(\frac{I_{k\,\infty}}{s}\right)^2 \cdot t_f = \left(\frac{12 \cdot 500}{150}\right)^2 \cdot 1{,}7 = 1{,}18 \cdot 10^4.$$

Cunoscînd că temperatura $\theta_n = 65\,°C$ și că materialul conductoarelor cablului este de cupru, rezultă din grafic (fig. 20—17) valoarea lui A_n

$$A_n = 1{,}15 \cdot 10^4.$$

Cu ajutorul relației 20.51 se calculează coeficientul A_k.

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_{k\,\infty}}{s}\right)^2 \cdot t_f = 1{,}15 \cdot 10^4 + 1{,}18 \cdot 10^4 = 2{,}33 \cdot 10^4.$$

Din graficul din figura 20—17 rezultă temperatura cablului în cazul scurtcircuitului :

$$\theta_k = 140\,°C.$$

Avînd în vedere că temperatura cablului la scurtcircuit (θ_k) este mai mare decît temperatura admisibilă (θ_{adm}), cablul studiat în exemplul de față nu satisface condiția de stabilitate termică (20.50), deoarece :

$$\theta_k > \theta_{adm};$$

$$140\,°C > 125\,°C.$$

Pentru asigurarea stabilității termice va trebui să alegem o secțiune mai mare a cablului. Secțiunea imediat superioară va fi 3 × 185 mm², în acest caz expresia :

$$\left(\frac{I_{k\infty}}{s}\right)^2 \cdot t_f = \left(\frac{12 \cdot 500}{185}\right)^2 \cdot 1{,}7 = 0{,}76 \cdot 10^4,$$

iar coeficientul A_k :

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_{k\infty}}{s}\right)^2 t_f = 1{,}15 \cdot 10^4 + 0{,}76 \cdot 10^4 = 1{,}91 \cdot 10^4.$$

Din grafic rezultă :

$$\theta_k = 110\,°C.$$

Deci, la secțiunea nou aleasă de 3 × 185 mm², cablul studiat satisface condiția de stabilitate termică (20.50) :

$$\theta_k < \theta_{adm}, \text{ deoarece}$$

$$110\,°C < 125\,°C.$$

ALEGEREA APARATAJULUI ELECTRIC AL STAȚIILOR

Alegerea aparatajului stațiilor electrice se face în funcție de regimul normal de funcționare a instalației și se verifică la curenții maximi de scurtcircuit.

Pentru a satisface prima condiție este suficient ca :

— tensiunea nominală a aparatajului ales să fie egală sau mai mare decît tensiunea nominală a circuitului în care acesta urmează să fie instalat ;

— curentul nominal al aparatajului ales să fie mai mare sau cel puțin egal cu curentul maxim de exploatare normală a circuitului în care acesta urmează să fie instalat.

Din punctul de vedere al curenților de scurtcircuit se aleg și se verifică numai următoarele aparate din stațiile electrice : transformatoarele de intensitate, întrerupătoarele, separatoarele și reactoarele.

Transformatoarele de forță nu se verifică din punct de vedere al curenților de scurtcircuit, ele fiind asigurate împotriva acestora prin construcție și printr-o alegere corespunzătoare a protecției prin relee.

Transformatoarele de tensiune de asemenea nu se verifică la curenții de scurtcircuit, deoarece nu sînt supuse acțiunii acestora, fiind instalate în circuite derivate de la circuitele principale ale instalației.

Pentru majoritatea aparatelor din stațiile electrice se aplică următoarele relații de verificare :

— la stabilitate electrodinamică :

$$i_{max} \geqslant i_{șoc}; \tag{20.56}$$

— la stabilitate termică :

$$I^2t \geqslant I^2_{k\infty} \cdot t_f, \tag{20.57}$$

în care : $i_{șoc}$ este curentul de șoc (calculat) ;

$I_{k\infty}$ — curentul permanent de scurtcircuit (de asemenea calculat) ;

i_{max} — curentul maxim admisibil din punct de vedere electrodinamic al aparatului (dat în tabele) ;

I^2t — produs pentru verificarea stabilității termice (dat în tabele).

Întrebări recapitulative

1. Care sînt aparatele din stațiile electrice care se aleg și se verifică, ținînd seama de curenții de scurtcircuit ?
2. Care sînt aparatele din stațiile electrice care nu au nevoie de verificare în funcție de curenții de scurtcircuit ?

ALEGEREA TRANSFORMATOARELOR DE INTENSITATE A ÎNTRERUPĂTOARELOR AUTOMATE, A SEPARATOARELOR ȘI A REACTOARELOR

1. Alegerea transformatoarelor de intensitate

Transformatoarele de intensitate se aleg pe baza : tensiunii nominale primare, a curentului nominal primar, a curentului nominal secundar (în general 5A), a puterii nominale și a clasei de precizie.

Se verifică la stabilitate electrodinamică și termică. Pentru ca transformatorul de intensitate să funcționeze la clasa de precizie aleasă, este necesar ca puterea nominală a transformatorului (S_{nom}) să fie egală sau mai mare decît puterea consumată (puterea consumată este compusă din : puterea consumată de aparate S_{ap}, puterea consumată de conductoare S_{cond} și de puterea consumată în contacte S_{cont}) :

$$S_{nom} \geqslant S_{ap} + S_{cond} + S_{cont}. \tag{20.58}$$

2. Alegerea întrerupătoarelor automate

Întrerupătoarele trebuie să poată întrerupe curenții de scurtcircuit în mod sigur și fără deteriorări. Pentru aceasta trebuie să fie satisfăcută condiția ca puterea de rupere a întrerupătorului S_r (dată în tabele) să fie mai mare decît puterea de scurtcircuit S_k :

$$S_k \leqslant S_r. \tag{20.59}$$

Se verifică la stabilitate electrodinamică și termică.

3. Alegerea separatoarelor

Separatoarele se aleg pe baza : curentului nominal, a tensiunii nominale a felului instalației și a caracteristicilor constructive. Se verifică la stabilitate electrodinamică și termică.

4. Alegerea reactoarelor

Reactoarele au de satisfăcut două condiții :

— să limiteze curenții de scurtcircuit la o valoare dorită ;

— să mențină pe barele stației, în caz de funcționare la scurtcircuit, o anumită tensiune U_{rem} (tensiune remanentă).

Relația care dă tensiunea remanentă la barele stației în cazul unui scurtcircuit după reactor este :

$$U_{rem} = \sqrt{3}\, I_k\, x_r. \tag{20.60}$$

Alegînd reactanța reactorului x_r se poate obține tensiunea remanentă dorită.

Pentru a stabili reactanța relativă a unui reactor care trebuie să reducă puterea de scurtcircuit de la S_k la S_{kr} la barele unei stații, se utilizează relația :

$$x_r = \frac{S_k}{S_{kr}}\, x_k, \tag{20.61}$$

S_k și x_k fiind valori de scurtcircuit înainte de montarea reactorului.

Formule de calcul ale reactanțelor inductive în unități absolute și în unități relative pentru diferite elemente ale unei instalații electrice

Elementul din instalația electrică	Reactanța inductivă în unități absolute (Ω)	Reactanța inductivă în unități relative
Generator	$\frac{U_{med}^2 \cdot x_d''}{S_G}$	$\frac{x_d'' \cdot S_b}{S_G}$
Transformator	$\frac{U_{med}^2 \cdot u_k\,\%}{100\,S_T}$	$\frac{u_k\,\%\,S_b}{100\,S_T}$
Linie electrică aeriană	$x_0 \cdot l$	$\frac{x_0 \cdot l \cdot S_b}{U_{med}^2}$
Reactor (bobină de reactanță)	$\frac{U_n \cdot x_r\,\%}{100\sqrt{3} \cdot I_n}$	$\frac{U_n \cdot x_r\,\% \cdot I_b}{100 \cdot I_n \cdot U_b}$

notațiile folosite reprezintă :

U_{med} — tensiunea medie a treptei la care este legat elementul ;

x_d'' — reactanța inductivă supratranzitorie a generatorului ;

S_G — puterea aparentă nominală a generatorului în MVA ;

$u_k\,\%$ — tensiunea de scurtcircuit a transformatorului în procente din tensiunea nominală a transformatorului ;

S_T — puterea aparentă nominală a transformatorului în MVA ;

S_b — puterea aparentă de bază în MVA ;

I_b — curentul de bază în kA ;

x_0 — reactanța inductivă a unui km din linie, în Ω/km ;

l — lungimea liniei, în km ;

U_n — tensiunea nominală a reactorului în kV (pentru care este construit) ;

I_n — curentul nominal al reactorului în kA (pentru care este construit) ;

$x_r\,\%$ — reactanța inductivă în procente a reactorului.

Capitolul XXI

SERVICIILE INTERNE ALE STAȚIILOR

ALIMENTAREA SERVICIILOR INTERNE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Serviciile interne ale stațiilor electrice se încadrează în ansamblul instalațiilor componente ale stațiilor și au o importanță deosebită în asigurarea unor condiții optime de exploatare și întreținere a acestor instalații.

Complexitatea și importanța serviciilor interne cresc proporțional cu puterea și importanța stației, dar în general cuprind : instalația de iluminat, instalația de curent continuu pentru alimentarea circuitelor secundare (protecție, măsurare și automatizare), instalația de aer comprimat (acolo unde există aparate care folosesc aer comprimat), gospodăria de ulei de transformator, instalațiile de răcire a transformatoarelor (ventilatoare, pompe de apă și ulei etc.). De asemenea, o serie de instalații auxiliare, cum sînt instalațiile de încălzit, instalațiile de ridicat pentru atelierele de întreținere etc., fac parte tot din serviciile interne. În stațiile de mică importanță, fără personal permanent de exploatare, serviciile interne se simplifică foarte mult, rămînînd să se asigure numai instalația de iluminat, sursa de alimentare a circuitelor secundare (care uneori este de curent alternativ) și instalația de aer comprimat.

Consumul de energie electrică necesar alimentării serviciilor interne ale stațiilor electrice este relativ mic.

Puterea totală a acestor instalații nu depășește în mod obișnuit 200 kW, iar tensiunea utilizată este de 380/220 V sau de 220/127 V.

Alimentarea majorității instalațiilor serviciilor interne se face în curent alternativ.

În stațiile electrice cu tensiunea secundară de 380/220 V, alimentarea serviciilor interne se face direct de la barele de joasă tensiune ale stației.

În stațiile electrice locale, de putere mică, cu tensiunea primară de 35 kV și cu tensiunea secundară de 6 sau 10 kV, pentru alimentarea serviciilor interne se folosește un singur transformator (fig. 21—1).

În stațiile electrice raionale de putere mare, cu tensiunea primară de 110 sau de 35 kV, pentru alimentarea serviciilor interne se folosesc două transformatoare, care se conectează la barele cu tensiunea secundară de 6 sau de 10 kV.

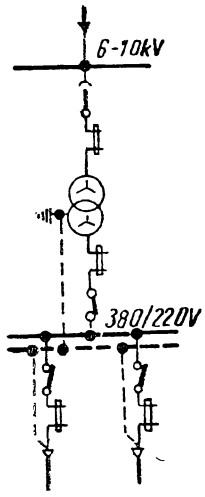


Fig. 21—1. Schema de alimentare cu un singur transformator a serviciilor interne ale unei stații de 35/6—10 kV.

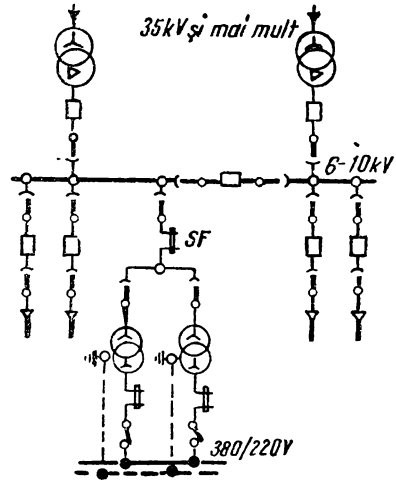


Fig. 21—2. Schema de alimentare a serviciilor interne cu două transformatoare pe o singură secție de bare.

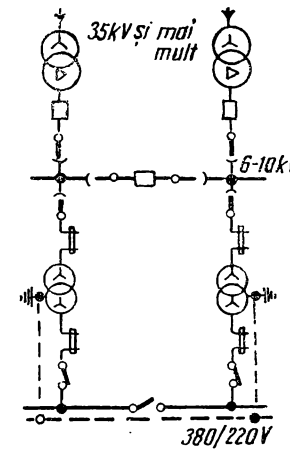


Fig. 21—3. Schema de alimentare a serviciilor interne cu două transformatoare avînd două secții de bare.

În alimentarea serviciilor interne cu două transformatoare se utilizează două scheme de alimentare :

— În stațiile electrice de putere relativ mare se conectează ambele transformatoare la o singură secție a barelor colectoare ale stației : un transformator este în funcțiune, iar celălalt în rezervă ; în acest caz, pentru a micșora numărul de celule în stația de 6 sau de 10 kV, conectarea celor două transformatoare la barele colectoare de 6 sau de 10 kV se realizează printr-un singur separator și printr-un singur grup de siguranțe *SF* (fig. 21—2).

— În stațiile de putere foarte mare, cele două transformatoare se conectează fiecare la cîte o secție de bare ; în acest caz, ambele transformatoare sînt în funcțiune (fig. 21—3).

În acest caz secționarea barelor de 380/220 V se realizează printr-un întrerupător cu pîrghie sau separator, acesta fiind normal deschis. Dacă unul din cele două transformatoare se defectează, acesta se deconectează și de la barele de înaltă tensiune (6 sau 10 kV), precum și de la cele de joasă tensiune (380/220 V) ; prin închiderea întrerupătorului cu pîrghie sau a separatorului (care normal este deschis) se preiau receptoarele transformatorului defect de către cel în funcțiune.

La stabilirea puterii transformatoarelor pentru servicii interne se ia în considerație numai suma puterilor consumatorilor din serviciile interne conectate permanent. Consumatorii din serviciile interne care nu sînt conectați permanent (pompe de apă și ulei, grupul convertizor pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare etc.) nu se iau în considerare la stabilirea puterii transformatoarelor.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele instalații care alcătuiesc serviciile interne ale unei stații electrice?
2. Care sînt schemele folosite la alimentarea serviciilor interne?
3. Care din consumatorii serviciilor interne nu sînt luați în considerare la stabilirea puterii transformatoarelor?

INSTALAȚII DE ILUMINAT

Instalațiile de iluminat trebuie să asigure desfășurarea în bune condiții a manevrelor de exploatare și a lucrărilor de reparații pe timpul nopții.

Se deosebesc două feluri de instalații de iluminat: de serviciu și de rezervă (de avarii).

1. Iluminatul de serviciu

Tensiunea normală a instalațiilor de iluminat este de 380/220 V. Mai rar se întîlnește și tensiunea de 220/127 V. Alimentarea iluminatului de serviciu se face în curent alternativ. Iluminatul de serviciu este necesar în toate încăperile stației electrice și în locurile unde s-ar putea ca în timpul nopții să se efectueze lucrări. Iluminatul de serviciu poate fi de interior sau de exterior, iar comanda trebuie să fie separată.

În aceste stații, precum și în acele încăperi ale stațiilor în care nu există iluminat de rezervă, personalul va folosi, în cazul întreruperii iluminatului de serviciu, lămpi portative cu tensiuni de 12 sau 24 V.

Pentru lucrări de reparații sau pentru controlul echipamentului este necesar, în afara iluminatului de serviciu, un iluminat suplimentar; în aceste locuri se montează prize conectate la rețeaua iluminatului de serviciu, adică la tensiunea de 380/220 V. Iluminatul suplimentar se realizează cu ajutorul lămpilor portative, care se conectează la aceste prize prin intermediul unor transformatoare portative cu tensiunea secundară de 12 sau 24 V.

Utilizarea tensiunilor de 12 și de 24 V în acest caz se face special pentru protecția și securitatea personalului care execută lucrările de revizie și reparație, întrucît aceste tensiuni nu sînt periculoase pentru organismul omenesc în cazul deteriorării izolației.

2. Iluminatul de rezervă

Iluminatul de serviciu este alimentat prin transformatorul serviciilor interne de la barele stației electrice. În cazul unei avarii, la dispariția tensiunii pe barele stației se stinge și iluminatul de serviciu. Sînt locuri în care întreruperea lucrului personalului de exploatare nu este permisă nici în caz de avarii. În aceste locuri se instalează iluminatul de rezervă. În mod normal, iluminatul de rezervă funcționează împreună cu iluminatul de serviciu, iar în cazul avariei este deconectat automat de la sursa de curent alternativ și conectat la sursa de rezervă. Ca sursă de rezervă, se folosește de cele mai multe ori bateria de acumulatoare a stației care alimentează iluminatul de rezervă cu curent continuu de 110 sau de 220 V. La stațiile mici, unde nu există baterie de acumulatoare și personal permanent, nu se prevede iluminat de rezervă.

Rețeaua iluminatului de rezervă este independentă de rețeaua iluminatului de serviciu, iar tabloul de comandă al iluminatului de rezervă, împreună cu comutatorul de alimentare, se găsesc în camera de comandă a stației electrice.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică instalațiile de iluminat dintr-o stație electrică?
2. Ce fel de lămpi se folosesc la lucrările de reparații și la inspectarea aparatajului?
3. Ce este iluminatul de rezervă și de unde se alimentează el?

INSTALAȚII DE CURENT CONTINUU

1. Bateria de acumulatoare

Pentru alimentarea rețelei iluminatului de rezervă, precum și pentru alimentarea circuitelor de comandă, semnalizare și de protecție, este necesară o sursă de energie electrică independentă, care să nu fie întreruptă în cazul unei avarii în stație.

Întreruperea alimentării circuitelor de comandă, de semnalizare și de protecție în cazul unei avarii ar putea avea urmări foarte grave. O astfel de sursă este bateria de acumulatoare formată, de obicei, din mai multe acumulatoare acide cu plăci de plumb.

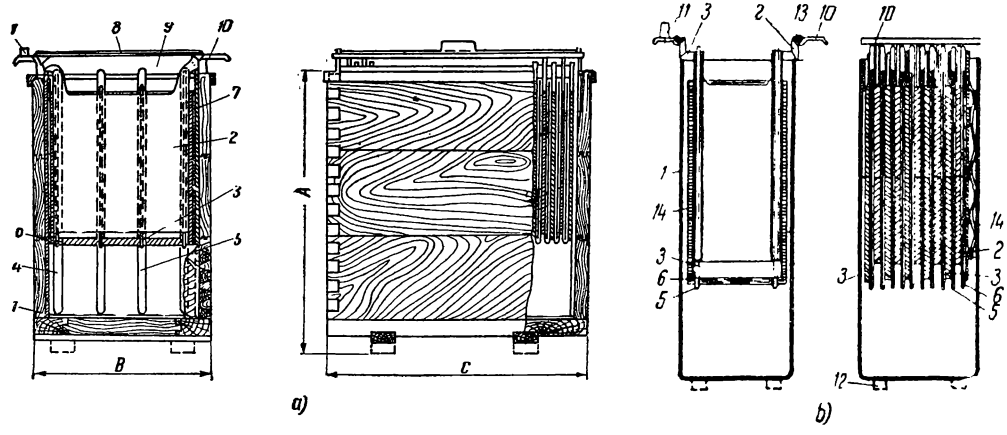
Acumulatorul acid cu plăci de plumb este format dintr-un vas care poate fi de sticlă (fig. 21—4, *b*) sau de lemn căptușit cu tablă de plumb (fig. 21—4, *a*). Dimensiunile de gabarit *A*, *B*, *C* sînt stabilite în STAS 445—52. Vasul acumulatorului este umplut cu o soluție de acid sulfuric și apă distilată, numită *electrolit*.

În electrolit sînt cufundate mai multe plăci de plumb activat, pozitive și negative.

Principiul de funcționare al acumulatorului este următorul: dacă se leagă bornele acumulatorului la un generator de curent continuu, acumulatorul absoarbe energie electrică și o transformă în energie chimică sub formă de reacții chimice care au loc între electrolit și plăcile de plumb.

Fig. 21—4. Acumulatoare acide cu plăci de plumb:

a — acumulator în cutie de lemn; *b* — acumulator în vas de sticlă; *1* — vas; *2* — placă pozitivă; *3* — placă negativă medie; *4* și *5* — piese de presare și strîngere; *6* — planșetă netedă; *7, 8, 9* — geamuri; *10* — punte pentru legarea plăcilor; *11* — bornă; *12* — izolatoare; *13* — sudură de asamblare a plăcilor; *14* — resort de presare.



După ce se încarcă, acumulatorul poate să redea energia acumulată. La descărcare, reacțiile chimice se produc invers, la bornele acumulatorului obținîndu-se tensiune continuă.

În funcție de durata de descărcare, se deosebesc două feluri de acumulatoare :

— acumulatoare de tip L, utilizate la descărcări mijlocii și lente, care durează între 3 și 10 h ;

— acumulatoare de tip L_s, utilizate la descărcări rapide, care durează între 1 și 2 h.

În funcție de capacitatea de descărcare există 41 de tipuri de acumulatoare (capacitatea de descărcare, în amperi-oră, este produsul dintre durata de descărcare, în ore, și curentul debitat în acest timp de acumulator, în amperi). Simbolizarea acestor tipuri de acumulatoare se face cu numere cuprinse între 1 și 124 scrise după literele care indică tipul (L_s sau L).

Numerele acestea sînt rezultatul împărțirii la 36 a capacității de descărcare în regimul de descărcare de 10 ore.

Exemplul de calcul 20—1. Să se simbolizeze un acumulator pentru descărcări lente, care timp de 10 ore a debitat în circuit un curent de descărcare constant de 18 A.

Capacitatea Q_{10} a acumulatorului în regim de 10 ore se obține cu relația

$$Q_{10} = It,$$

în care t este timpul de descărcare, în ore ;

I — curentul de descărcare constant pe timpul descărcării în A.

În cazul de față, $Q_{10} = 18 \cdot 10 = 180$ Ah.

Pentru aflarea numărului N din simbol se împarte capacitatea de descărcare, care este tocmai în regimul de descărcare de 10 h, la 36, adică

$$N = \frac{Q_{10}}{36} = \frac{180}{36} = 5.$$

Acumulatorul are deci simbolul L — 5.

Exemplul de calcul 20—2. Să se determine valoarea curentului de descărcare care poate fi debitat constant timp de 10 ore de către un acumulator tip L—22.

Capacitatea de descărcare în regim de 10 ore se obține cu relația

$$Q_{10} = 36\ N,$$

în care $N = 22$, deci

$$Q_{10} = 36 \cdot 22 = 792 \text{ Ah}.$$

Curentul de descărcare constant debitat timp de 10 ore este

$$I = \frac{Q_{10}}{t} = \frac{792}{10} = 79{,}2 \text{ A}.$$

Caracteristicile mai importante ale unui acumulator acid cu plăci de plumb sînt:

— *tensiunea nominală*, adică tensiunea minimă admisibilă la bornele acumulatorului încărcat complet, în cursul primei ore de descărcare în regimul de 10 ore (valoarea ei este de 2 V);

— *tensiunea în circuit deschis* a acumulatorului încărcat complet (trebuie să fie de 2,03--2,05 V);

— *tensiunea minimă* a acumulatorului la sfîrșitul descărcării (trebuie să fie de 1,75 V pentru acumulatoare L_s și de 1,8 V pentru acumulatoare L);

— *tensiunea la sfîrșitul încărcării* acumulatorului (trebuie să fie cuprinsă între 2,6 și 2,75 V);

— *temperatura electrolitului acumulatorului* (nu trebuie să depășească 40 °C);

— *curentul maxim de încărcare*, care trebuie să fie $I_{inc} = 9\,N$ pentru acumulatoare L și $I_{inc} = 11{,}065\,N$ pentru acumulatoare L_s; de exemplu, acumulatorul L_s —124 are curentul maxim de încărcare $I_{inc} = 11{,}065 \cdot 124 = 1\,372$ A, iar acumulatorul L-1 are curentul maxim de încărcare $I_{inc} = 9 \cdot 1 = 9$ A;

— *durata de descărcare*, în ore;

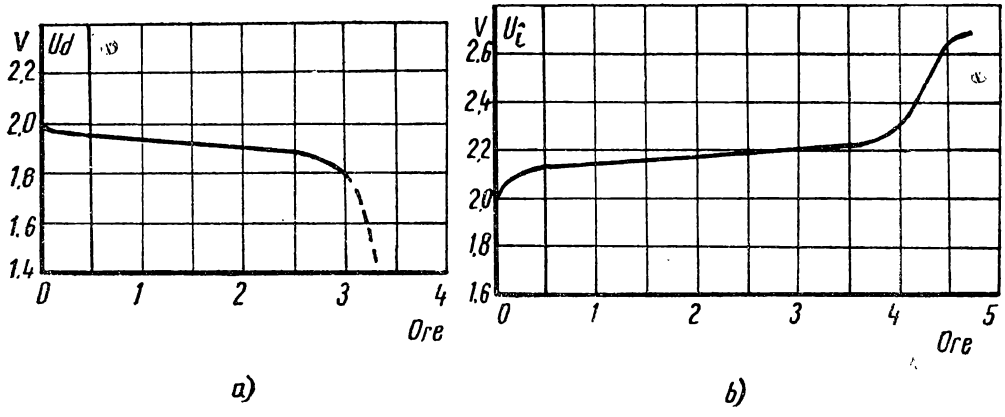
— *curentul de descărcare* dat în tabele pentru durate diferite de descărcare, în A;

— *capacitatea de descărcare*, în Ah;

— *tensiunea de descărcare* U_d, variabilă în procesul de descărcare a acumulatorului în funcție de timp (fig. 21—5, *a*);

— *tensiunea de încărcare* U_i, variabilă în procesul de încărcare a acumulatorului în funcție de timp (fig. 21—5, *b*).

Fig. 21—5. Curbele de variație a tensiunii la bornele acumulatorului:
a — descărcare cu curent constant; *b* — încărcare cu curent constant.



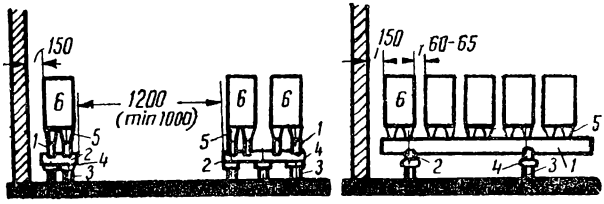


Fig. 21—6. Instalarea bateriilor de acumulatoare pe stelaje :
1, 2 — grinzi de lemn; *3* — suporți de lemn; *4* — plăci de sticlă; *5* — izolatoare de sticlă; *6* — acumulatoare.

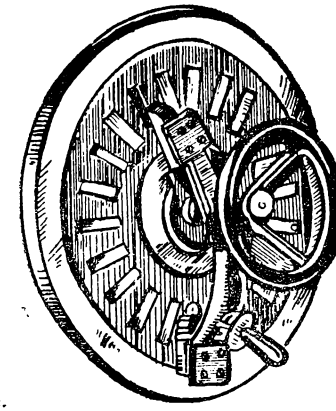


Fig. 21—7. Comutatorul dublu de elemente.

În timpul inactivității, deși acumulatorul rămîne în circuit deschis, el se autodescarcă. Din această cauză, un acumulator care a fost încărcat, dar nu a fost întrebuințat timp de 30 de zile, trebuie reîncărcat.

Pentru obținerea tensiunii de 110—220 V la consumatorii de curent continuu ai stației electrice, acumulatoarele se leagă în serie, iar pentru obținerea unui curent mărit se leagă în paralel. Se formează astfel bateria de acumulatoare care se instalează pe stelaje de lemn (fig. 21—6).

În procesul de descărcare și încărcare a bateriei de acumulatoare, tensiunea nu rămîne constantă. Pentru a se evita acest neajuns, în circuitul bateriei de acumulatoare se montează un comutator dublu de elemente (fig. 21—7), cu ajutorul căruia, în circuit, în timpul descărcării, se pot include treptat elemente (acumulatoare), menținîndu-se astfel tensiunea constantă.

În procesul de încărcare, tot cu ajutorul comutatorului dublu de elemente se poate menține tensiunea la bornele bateriei la valoarea dorită.

În încăperea în care se află bateria de acumulatoare, temperatura trebuie să fie cuprinsă între 10 și 25 °C. Aceasta se realizează prin intermediul conductelor de ventilație, plasate atît în părțile superioare, cît și în părțile inferioare ale încăperii.

2. Încărcarea bateriei de acumulatoare

Pentru încărcarea bateriei de acumulatoare este necesară o sursă de curent continuu. Această sursă este de obicei un generator de curent continuu, care pentru a menține tensiunea cît mai constantă are excitația mixtă.

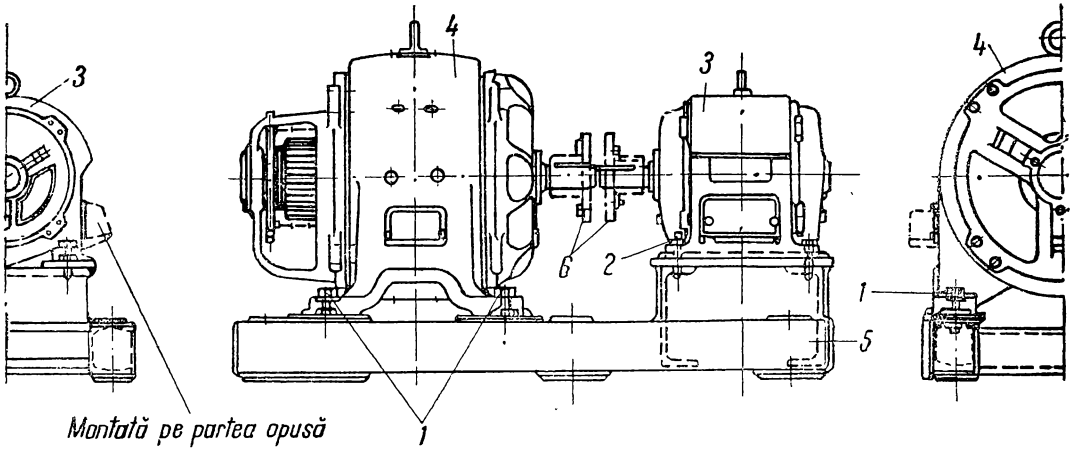


Fig. 21—8. Grup convertizor pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare :
1, 2 — șuruburi de fundație; *3* — motor trifazat asincron; *4* — generator de curent continuu de 10 kW; *5* — placă de fundație; *6* — cuplaj.

Puterea generatorului este în funcție de mărimea bateriei de acumulatoare. Acționarea generatorului de curent continuu se face cu ajutorul unui motor electric asincron trifazat, alimentat de la tabloul serviciilor interne. În figura 21—8 se poate vedea un grup convertizor format dintr-un generator de curent continuu de 10 kW și un motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit. Grupul convertizor se fixează pe o placă de fundație fixă. Pentru a fi protejat împotriva umidității și vaporilor acizi care pot proveni de la bateria de acumulatoare, grupul convertizor se amplasează în altă încăpere.

La stațiile mici, bateriile se pot încărca de la un redresor uscat cu seleniu, mult mai ușor de exploatat. Bateria poate fi legată în permanență la redresor (regim de încărcare permanentă) sau se încarcă periodic (regim de încărcare-descărcare).

Întrebări recapitulative

1. Din ce este alcătuit un acumulator electric?
2. Ce deosebiri există între acumulatoarele acide cu plăci de plumb de tip L și de tip L_s?
3. Care sînt limitele de temperatură care trebuie menținute în încăperile în care se află bateriile de acumulatori?

INSTALAȚII AUXILIARE

1. Instalațiile de răcire a transformatoarelor

Transformatoarele de putere montate în încăperi prezintă pericolul de a se încălzi peste limitele admisibile. Pentru răcirea acestora se montează în dreptul radiatoarelor ventilatoare acționate de motoare de curent alternativ, asincrone mono sau trifazate. În cazul transformatoarelor montate în posturi închise, supraterane sau subterane se va asigura în plus și ventilația încăperilor respective cu exteriorul. Transformatoarele mari, chiar și cînd sînt montate în exterior, prezintă necesitatea de a fi răcite.

La transformatoarele de puteri foarte mari (peste 20 MVA), răcirea se face prin circulația forțată a uleiului din cuva transformatorului. Pentru aceasta se stabilește un circuit închis al uleiului. Răcirea uleiului se face printr-un schimb de căldură ce se efectuează între circuitul de ulei și un circuit de apă. Pompele de apă și de ulei sînt acționate cu motoare electrice.

2. Instalația de aer comprimat

În multe stații electrice acționarea separatoarelor și a întrerupătoarelor se face cu aer comprimat. La stingerea arcului electric al întrerupătoarelor cu aer se utilizează, de asemenea, aer comprimat.

Aerul comprimat este generat de unul sau de mai multe compresoare acționate de motoare electrice asincrone de curent alternativ. Grupul motor-compresor împreună cu rezervoarele de aer se montează pe o placă de fundație într-o încăpere izolată. Aerul comprimat ajunge la locul de utilizare prin conducte de cupru sau de oțel. Pentru menținerea presiunii dorite la acționarea separatoarelor și a întrerupătoarelor, în rețeaua de aer comprimat și uneori chiar în celule se instalează rezervoare cu capacitatea cuprinsă între 500 și 1 000 dm^3.

Exploatarea instalației de aer comprimat trebuie să se facă astfel încît să nu apară situații, cînd din cauza lipsei de aer comprimat să nu se poată acționa separatoarele sau întrerupătoarele.

3. Gospodăria de ulei

Transformatoarele și întrerupătoarele cu ulei folosesc ca mediu izolant și mediu de stingere uleiul mineral numit ulei de transformator. Acesta trebuie să aibă anumite proprietăți izolante, dintre care cele mai importante sînt : lipsa de impurități și lipsa de umiditate. În timpul funcționării aparatelor respective uleiul se degradează.

Regenerarea uleiului de transformator se realizează cu ajutorul unor instalații speciale prin fierbere și centrifugare.

Pentru completarea pierderilor de ulei trebuie prevăzute și rezerve de ulei.

Completarea și regenerarea uleiului la transformatoare și la întrerupătoare se efectuează numai într-un mediu ambiant uscat. Dacă nu este posibil ca manipularea uleiului să se facă în încăperi închise, acestea se pot efectua în exterior numai cînd atmosfera este uscată.

Întrebări recapitulative

1. Cum se produce și la ce se utilizează aerul comprimat în stațiile electrice?
2. Care sînt principalele proprietăți pe care trebuie să le aibă uleiul de transformator?
3. În ce condiții trebuie să se efectueze completarea cu ulei și regenerarea uleiului la transformatoare și la întrerupătoare?

Capitolul XXII

INSTALAȚIILE DE MĂSURAT ȘI DE CONTROL DIN STAȚIILE ELECTRICE

CLASIFICAREA ȘI CONSTRUCȚIA APARATELOR

În instalațiile electrice de producere, transport și distribuție a energiei electrice, regimul de funcționare se reglează și se controlează în permanență cu ajutorul instalațiilor de măsurat și control.

Acestea sînt destinate să măsoare și apoi să indice sau să înregistreze valorile mărimilor electrice și ale mărimilor termice.

Aparatele de măsurat și control constituie partea cea mai importantă a acestor instalații și se montează în stațiile de distribuție și de transformare sau în camerele de comandă.

Pentru controlul permanent, aparatele se montează pe tablouri sau pupitre ; pentru verificări și control periodic se folosesc aparate și instrumente de măsurat și control portative.

1. Clasificarea aparatelor de măsurat și control

Aparatele de măsurat și control se pot clasifica după modul de indicare a valorii mărimii de măsurat, după modul de așezare, după condițiile de folosire a aparatelor și după precizia măsurărilor.

După modul de indicare a valorii mărimii de măsurat, aparatele pot fi indicatoare sau înregistratoare :

— *aparatele indicatoare* indică în fiecare moment valoarea mărimii de măsurat, în general cu ajutorul unui ac indicator care se deplasează de-a lungul unei scări gradate ;

— *aparatele înregistratoare* înregistrează variațiile mărimii măsurate pe o bandă, care se deplasează cu viteză constantă.

După modul de așezare și condițiile de folosire, aparatele pot fi : aparate de tablou sau aparate portative ;

— *aparatele de tablou* sînt montate pe fețele panourilor sau ale pupitrelor de comandă și rămîn în permanență în circuit ;

— *aparatele portative* servesc la verificările și controalele periodice ale instalației.

După precizia măsurărilor se deosebesc mai multe *clase de precizie*, definite prin eroarea aparatelor, în procente. În general, se deosebesc *aparate foarte precise*, care servesc la măsurări precise și la etalonarea altor aparate mai puțin precise, și *aparate industriale*, cu care se execută măsurări și verificări cu precizie suficientă pentru procesele de producție.

Uneori, mărimile de măsurat din instalațiile electrice au valori care depășesc posibilitățile de măsurare directă cu aparatele de măsurat. În aceste cazuri se recurge la folosirea *transformatoarelor de măsură*.

Aparatele care funcționează prin intermediul transformatoarelor sînt gradate pentru mărimea din primarul transformatoarelor, deși în realitate ele sînt dimensionate pentru 100 V și respectiv 5 A.

Aparatul împreună cu transformatorul formează un *grup de măsurare.*

Într-o instalație electrică se măsoară de obicei următoarele mărimi: curentul, tensiunea, puterea (activă și reactivă), factorul de putere, energia (activă și reactivă), rezistența de izolație, frecvența.

2. Construcția aparatelor de măsurat

Cu toate că există o mare diversitate de aparate electrice de măsurat, majoritatea lor prezintă elemente constructive comune, și anume: acul indicator, arcurile spirale, cadranul gradat și dispozitivul de amortizare.

Acul indicator. Acul indicator este construit dintr-un metal ușor; el este așezat pe un ax care se poate învîrti liber în două lagăre mici de construcție specială, pentru a se reduce pe cît posibil frecările (fig. 22—1). Greutatea acului indicator este echilibrată cu două greutăți mici numite contragreutăți.

Arcurile spirale. În stare de repaus, acul indicator este menținut la diviziunea zero cu ajutorul unor resoarte spirale, construite dintr-un aliaj elastic. Aducerea la poziția zero se face cu ajutorul unui șurub de reglaj.

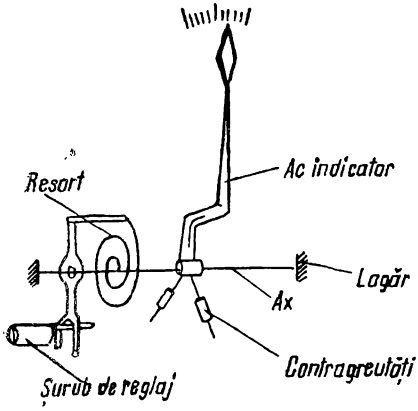


Fig. 22—1. Acul indicator al unui aparat de măsurare.

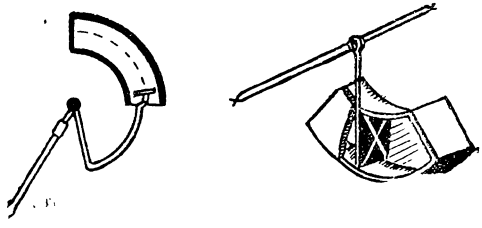


Fig. 22—2. Amortizoare cu aer.

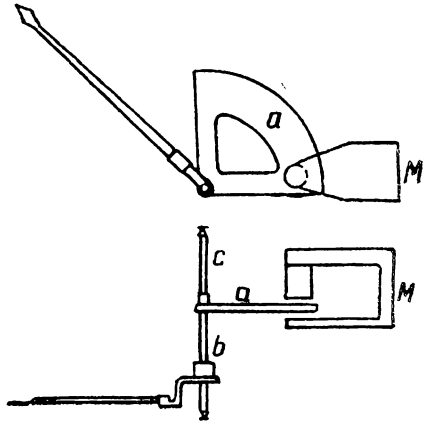


Fig. 22—3. Amortizor magnetic.

La deplasarea arcului indicator resoartele spirale opun o rezistență cu atît mai mare, cu cît deplasarea este mai mare.

Cadranul gradat. Acul indicator se deplasează în fața unui cadran gradat, în general, în valori ale mărimii de măsurat. Gradațiile pot fi trasate uniform sau neuniform, după tipul aparatului.

Dispozitive de amortizare. Pentru deplasare lină și oprire după un timp scurt a acului indicator (fără pendulații) se folosesc amortizoare ale mișcării, ca :

— *Amortizorul cu aer* (fig. 22—2) este constituit dintr-o paletă care, legată cu axul instrumentului, se deplasează într-un cilindru. Prin comprimarea aerului mișcarea se amortizează în scurt timp, după una sau două oscilații.

— *Amortizorul magnetic* (fig. 22—3) constă dintr-o plăcuță de aluminiu *a*, fixată de axul aparatului *bc*. Plăcuța se poate mișca între polii unui magnet permanent *M*, deci în ea se induc curenți turbionari. Din interacțiunea dintre acești curenți și cîmpul magnetic al magnetului permanent rezultă o forță de frînare, de amortizare.

După principiul de construcție și modul de funcționare se deosebesc aparate electrice de măsurat : magnetoelectrice, electromagnetice, electrodinamice, de inducție, termice etc.

Întrebări recapitulative

1. În ce constă utilitatea aparatelor de măsurat și control în instalațiile electrice ?
2. Cum se clasifică aparatele de măsurat electrice după modul de indicare a valorii mărimii de măsurat ?
3. Care sînt elementele constructive comune ale aparatelor electrice de măsurat ?

TIPURI DE APARATE DE MĂSURAT ELECTRICE

1. Aparate magnetoelectrice

Aparatele magnetoelectrice sînt bazate pe interacțiunea dintre curenții electrici și cîmpul magnetic creat de un magnet permanent. În figura 22—4 este reprezentat un astfel de aparat. Între polii unui magnet permanent în

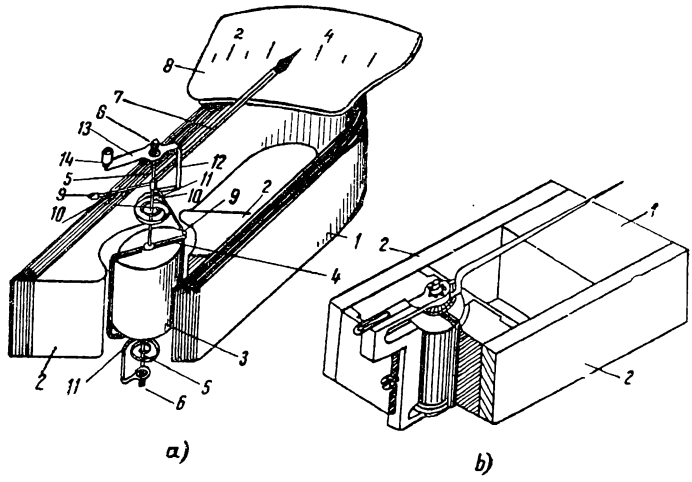


Fig. 22—4. Aparate magnetoelectrice :
a — cu magnet de oțel; *b* — cu magnet de nichel-aluminiu; *1* — magnet; *2* — piese polare; *3* — miez; *4* — bobină mobilă; *5* — semiaxe; *6* — lagăre; *7* — ac indicator; *8* — scară gradată; *9* — contragreutăți; *10* — tije; *11* — arcuri spirale; *12* — ghidaj; *13* — furcă; *14* — corector (șurub de reglaj).

formă de potcoavă se găsește o bobină în formă de cadru, fixată printr-un ax în lagărele aparatului. Acul indicator este fixat solidar pe axul bobinei mobile. În interiorul bobinei se găsește un miez de fier moale de formă cilindrică, care are rolul de a concentra liniile de cîmp ale magnetului permanent. Curentul este adus la bobina mobilă prin intermediul arcurilor spirale, care fac ca acul indicator să rămînă în poziția zero și opun rezistență mișcării axului în caz de funcționare a instrumentului.

La trecerea curentului prin bobina mobilă se creează o forță care rotește echipajul mobil cu un unghi oarecare. Amortizarea mișcării se realizează prin curenți turbionari, care se induc în carcasa de aluminiu a suportului cadrului mobil în timpul mișcării acestuia.

Dacă bobina este confecționată dintr-un număr mare de spire de secțiune mică, instrumentul se folosește ca voltmetru. Dacă bobina este confecționată dintr-un număr mic de spire de secțiune mare, instrumentul se poate folosi ca ampermetru.

Indicațiile instrumentului sînt proporționale cu mărimea măsurată; gradațiile scării sînt trasate la distanțe egale.

Dacă se inversează legăturile la bornele instrumentului, acul indicator se deplasează în sens invers, deci nu se pot măsura decît curent continuu sau tensiune continuă (de o singură polaritate). Se zice că instrumentul este polarizat. Bornele + și — marcate pe aparat trebuie necondiționat respectate.

2. Aparate electromagnetice

Aparatele electromagnetice sînt de două tipuri : cu atragere și cu respingere. În figura 22—5 este reprezentat schematic un aparat de tip cu atragere.

Aparatul este echipat cu o bobină de formă dreptunghiulară, în interiorul căreia se poate deplasa o bucată de fier moale în formă de sector *1*. Aceasta este fixată pe axul instrumentului prevăzut la un capăt cu acul indicator, iar la celălalt capăt cu sistemul de amortizare cu aer.

Un resort spiral *2* aduce acul indicator în poziția zero și se opune mișcării echipajului mobil la funcționarea aparatului.

La trecerea curentului prin bobină, sectorul de oțel moale este atras către interiorul bobinei și acul indicator se rotește indicînd pe scara gradată valoarea curentului sau a tensiunii.

În figura 22—6 este reprezentat schematic un aparat de tip cu respingere. Curentul de măsurat parcurge bobina circulară *3* a aparatului. În interiorul bobinei se găsește o plăcuță fixă *1* și una mobilă *2* fixată pe axul aparatului.

La trecerea curentului prin bobina circulară cele două plăcuțe se magnetizează și se resping întocmai cum se resping doi magneți puși cu polii de același fel față în față.

O dată cu mișcarea plăcuței se rotește și acul indicator, de-a lungul scării gradate, indicînd valoarea mărimii măsurate.

Aparatele electromagnetice se pot folosi atît în curent alternativ, cît și în curent continuu, deoarece atragerea sau respingerea, pe care electromagneții o produc, nu depinde de sensul curentului, ci numai de valoarea lui. De aceea astfel de instrumente nu sînt polarizate.

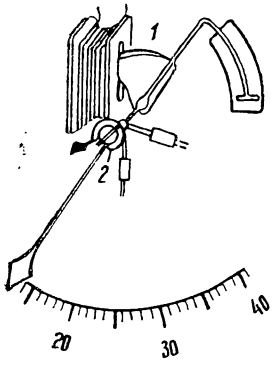


Fig. 22—5. Aparat electromagnetic de tip cu atragere.

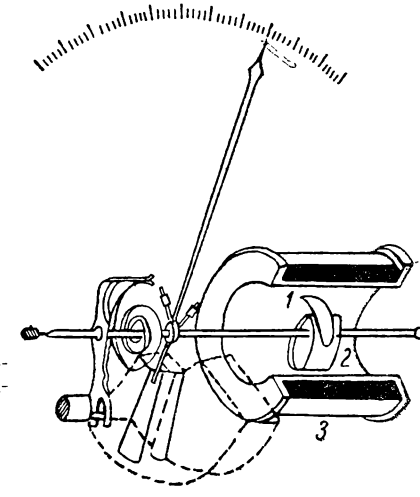


Fig. 22—6. Aparat electromagnetic de tip cu respingere.

Indicațiile aparatelor sînt proporționale cu pătratul curentului măsurat. Din această cauză, gradațiile scării nu sînt uniforme, și anume sînt mai dese la începutul scării și mai rare la sfîrșitul ei.

Aparatele de curent alternativ indică întotdeauna valorile efective ale mărimii măsurate, deoarece sistemul mobil prevăzut cu amortizor nu poate urmări variațiile mărimii măsurate.

3. **Aparate** electrodinamice

Aparatele electrodinamice sînt construite ca în figura 22—7: o bobină fixă *1*, în interiorul căreia se rotește o bobină mobilă *2*, solidară cu axul acului indicator.

Bobinele sînt străbătute în serie de curentul care trebuie măsurat. Funcționarea este asemănătoare cu aceea a aparatelor cu magnet permanent, bobina fixă avînd rolul magnetului permanent.

Indiferent de sensul curentului, deviația se face în același sens. De aceea, aparatul poate fi folosit atît în curent continuu, cît și în curent alternativ. Indicațiile aparatului sînt proporționale cu pătratul curentului, deci scara este gradată neuniform.

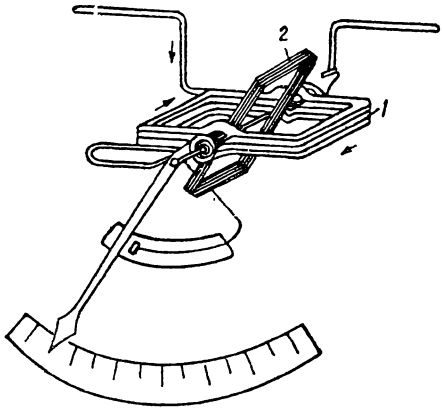


Fig. 22—7. Aparat electrodinamic.

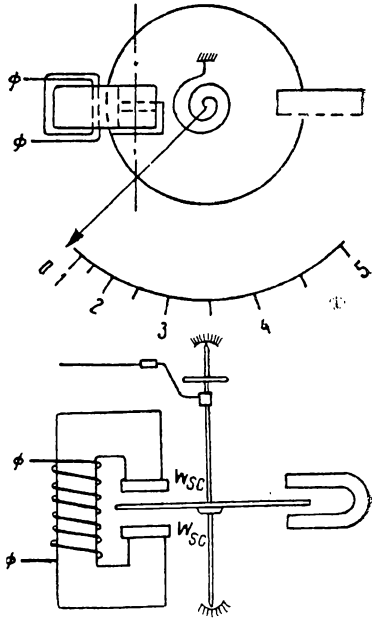


Fig. 22—8. Aparat de inducție.

Dacă bobina fixă este străbătută de curentul unui circuit, iar bobinei mobile i se aplică tensiunea aceluiași circuit, aparatul indică puterea respectivă, deci devine wattmetru.

4. Aparate de inducție

Aparatele de inducție sînt construite ca în figura 22—8 : o bobină prin care trece curentul electric de măsurat are un miez de oțel, în întrefierul căruia se poate învîrti un disc de aluminiu. În zona întrefierului, pe o parte a miezului magnetic se află un inel de cupru sub formă de secundar, al unui transformator în scurtcircuit W_{sc}. Curenții induși în inelul de cupru acționează asupra curenților induși în discul de aluminiu și ca urmare discul se învîrtește. De discul de aluminiu sînt fixate două arcuri spirale și un ac indicator. Deplasarea discului și deci și a acului indicator depinde de mărimea curentului care străbate bobina.

Aparatele de inducție sînt utilizate numai pentru măsurări în curent alternativ, deoarece în curent continuu fluxul magnetic produs de electromagnet este constant și în disc nu se induc curenți. După acest principiu se construiesc aparatele pentru măsurarea energiei electrice, însă acestea nu au arcuri și se rotesc continuu.

5. Aparate termice

Funcționarea aparatelor termice se bazează pe proprietatea firelor metalice de a se lungi sub acțiunea căldurii produse de curentul electric care le străbate. Principiul de funcționare este reprezentat în figura 22—9.

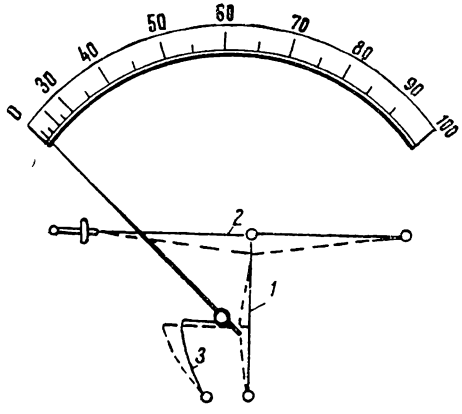
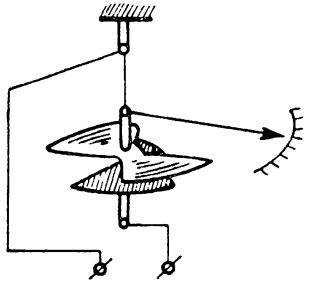


Fig. 22—9. Aparat termic.

Fig. 22—10. Aparat electrostatic.



Firul *2* de platină este străbătut de curentul de măsurat. Prin trecerea curentului, firul se încălzește și se dilată, ajungînd în poziția desenată punctat. Dilatarea lui permite arcului *3* să tragă firul *1* și să rotească acul indicator. Acul indicator este deviat proporțional cu dilatarea firului *2*, iar aceasta este direct proporțională cu pătratul curentului (legea lui Joule-Lenz). De aceea, gradațiile scării nu sînt uniforme.

Aparatele termice se pot folosi atît în curent continuu, cît și în curent alternativ. Constructiv ele sînt simple dar se pot defecta ușor. Indicațiile lor sînt influențate de temperatura mediului ambiant, ale cărei variații produc erori de măsurare.

6. Aparate electrostatice

În laboratoarele pentru cercetări științifice se folosesc instrumente electrostatice pentru măsurarea tensiunilor. Schema construcției unui astfel de instrument se vede în figura 22—10. Fiecare instrument are două armături cu suprafață relativ mare, bine izolate una față de alta. Una din ele este fixă, iar cealaltă este mobilă. De placa mobilă se fixează acul indicator și amortizorul formînd echipajul mobil.

Cînd se aplică tensiunea la bornele instrumentului, plăcile se încarcă cu sarcini de semne contrarii și se atrag, dînd naștere unui cuplu de rotație avînd o valoare mică. Devierea acului indicator este mică și de aceea voltmetrele electrostatice se folosesc rar în industrie.

Indicațiile instrumentului electrostatic nu depind de felul curentului (alternativ sau continuu) și nici de frecvență.

Ele nu consumă energie activă, iar în curent continuu nu absorb curent. La frecvențe înalte prin aceste aparate circulă un mic curent capacitiv.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică aparatele de măsurat electrice după principiul lor de funcționare?
2. Să se expună principiul de funcționare pentru fiecare tip de aparat în parte.
3. Ce mărimi electrice se pot măsura cu fiecare din aparatele studiate?

MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI

Măsurarea intensității curentului se realizează cu ajutorul kiloampermetrelor, ampermetrelor sau al miliampermetrelor, în funcție de valoarea curentului de măsurat.

În toate cazurile, instrumentul se montează în serie cu circuitul în care trebuie să se măsoare curentul (fig. 22—11).

Circuitul se întrerupe și între cele două capete rezultate se montează ampermetrul. Acesta trebuie să aibă un domeniu de măsurare suficient ca să poată suporta curentul care trebuie măsurat.

Cînd curentul depășește valoarea maximă pentru care a fost construit instrumentul, atunci se recurge la mărirea domeniului de măsurare cu ajutorul șunturilor ((în curent continuu) sau al transformatoarelor de curent (în curent alternativ).

Șuntul este o rezistență electrică de valoare mai mică decît rezistența bobinei ampermetrului și se montează în derivație cu ampermetrul (fig. 22—12). Prin șunt trece o mare parte din curent, I_s, iar prin ampermetru trece un curent mai mic, I_a.

Șuntul poate fi instalat separat sau se poate găsi chiar în interiorul ampermetrului. Un ampermetru poate avea unul sau mai multe șunturi și deci unul sau mai multe domenii de măsurare.

Valoarea rezistenței șuntului se determină cu relația

$$R_s = \frac{R_a}{n-1}, \tag{22.1}$$

în care: R_s este rezistența șuntului;
R_a — rezistența aparatului;
n — raportul dintre curentul de măsurat și curentul pe care-l poate suporta aparatul.

Curentul principal se împarte în două, I_s prin șunt și I_a prin instrument. Valorile celor doi curenți fiind invers proporționale cu valorile rezistențelor, rezultă:

$$\frac{I_a}{I_s} = \frac{R_s}{R_a}. \tag{22.2}$$

Citind indicațiile ampermetrului și cunoscînd raportul dintre R_s și R_a se poate calcula valoarea curentului I_s:

$$I_s = I_a \frac{R_a}{R_s}. \tag{22.3}$$

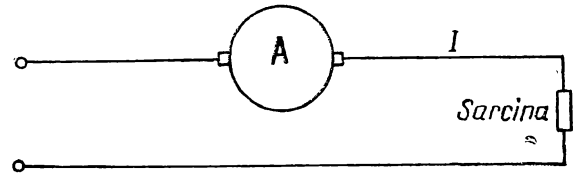


Fig. 22—11. Montarea ampermetrului direct în circuit.

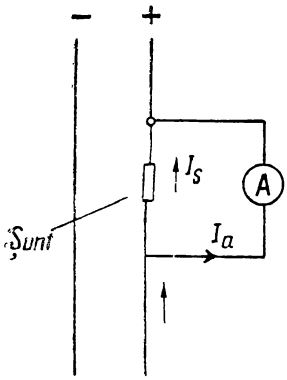


Fig. 22—12. Montarea șuntului la un ampermetru.

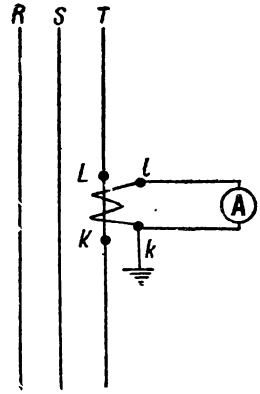


Fig. 22—13. Măsurarea indirectă a curentului cu transformator de curent: *R, S, T* — fazele circuitului; *K, L* — bornele din primar ale transformatorului; *k, l* — bornele din secundar ale transformatorului.

Valoarea curentului I de măsurat se deduce după legea I a lui Kirchhoff astfel:

$$I = I_a + I_s. \tag{22.4}$$

În practică, gradarea instrumentului se face împreună cu șuntul, astfel încît instrumentul indică direct valoarea curentului principal I. În cazul curentului alternativ, pentru reducerea curentului care trece prin ampermetru se preferă racordarea acestuia la rețea prin intermediul transformatoarelor de curent (reductoare de curent).

În figura 22—13 este prezentat modul de legare a ampermetrului la o rețea de curent alternativ de înaltă tensiune.

De exemplu, pentru aflarea valorii intensității curentului din circuitul fazei T a instalației de înaltă tensiune, indicațiile trebuie înmulțite cu raportul de transformare al transformatorului. Tot așa și pentru celelalte faze. Secundarele transformatoarelor se leagă la pămînt pentru protecția personalului de exploatare (în cazul cînd bobinajul secundar este străpuns și ajunge la tensiune înaltă).

Pentru curent continuu, cele mai des folosite sînt ampermetrele cu magnet permanent și bobină mobilă (magnetoelectrice).

Acolo unde se cere o precizie mai mică și un preț mai scăzut, de exemplu la aparatele de tablou, se folosesc și aparate electromagnetice.

Pentru măsurări în curent alternativ sînt folosite cel mai mult aparatele electromagnetice. Pentru măsurări precise se utilizează aparatele electrodinamice.

Întrebări recapitulative

1. Cum funcționează un ampermetru și cum se montează el în circuit?
2. Ce este șuntul și cum se montează el față de ampermetru?
3. Cum se face măsurarea curenților cu ajutorul transformatoarelor de măsură?

MĂSURAREA TENSIUNII

Aparatele folosite la măsurarea tensiunii se numese kilovoltmetre, voltmetre sau milivoltmetre, în funcție de tensiunile lor nominale. Măsurarea tensiunii, atît în curent continuu cît și în curent alternativ, se face, în general, cu ajutorul aparatelor de același tip cu cele pentru măsurarea curentului.

Tensiunea aplicată la bornele voltmetrului produce în circuitul acestuia un curent. Valoarea curentului depinde numai de tensiune, rezistența voltmetrului fiind constantă.

Trecerea curentului prin voltmetru provoacă devierea acului indicator cu un unghi care depinde de valoarea curentului, deci deviația este proporțională cu tensiunea.

Voltmetrele se deosebesc de ampermetre prin construcția bobinelor, care pentru obținerea de rezistențe ridicate, sînt confecționate din spire multe și sîrmă subțire. Curentul care circulă prin voltmetre este mic, deci pierderile sînt reduse.

Pentru măsurări în curent continuu se folosesc de obicei aparate magnetoelectrice, care au scara uniformă și permit citiri exacte de la un capăt la altul.

Voltmetrele electromagnetice se folosesc atît în curent continuu, cît și în curent alternativ, însă din cauza neuniformității scării la începutul acesteia, nu se pot face citiri prea precise.

Voltmetrele pentru măsurări directe se construiesc pentru tensiuni pînă la 650 V. Pentru extinderea domeniului de măsurare în curent continuu în serie cu aparatul se montează rezistențe adiționale, iar în curent alternativ se montează reductoare de tensiune.

Valoarea rezistenței adiționale se stabilește cu relația :

$$R_{ad} = R_a(n - 1), \tag{22.5}$$

în care : R_{ad} este valoarea rezistenței adiționale ;
R_a — rezistența aparatului ;
n — raportul dintre tensiunea de măsurat și tensiunea nominală a aparatului.

În figura 22—14 sînt reprezentate schemele de legare a voltmetrelor direct și prin rezistențe adiționale. Spre deosebire de ampermetre care se leagă în serie, voltmetrele se leagă în circuit în derivație. În curent alternativ, pentru tensiuni mai mari decît 650 V, voltmetrul se montează în circuit cu ajutorul unui transformator de tensiune.

Pentru protecția rețelei în cazul unui defect în transformatorul de tensiune, legarea bobinajului primar al acestuia la rețea se face prin intermediul unor siguranțe. Astfel, la o defecțiune în circuitul transformatorului, siguranțele se topesc izolînd transformatorul avariat de rețea.

Indicațiile voltmetrului montat la bornele secundare ale transformatorului de tensiune se înmulțesc cu raportul de transformare al transformatorului, pentru a se afla tensiunea U din primar. Schema de montaj a unui voltmetru V racordat prin intermediul unui transformator T de tensiune se vede în figura 22—15.

La stațiile electrice trebuie să se măsoare și tensiunea rețelei de înaltă tensiune. Pentru aceasta, voltmetrele se leagă la rețea prin intermediul reductoarelor de tensiune, așa cum se vede în figura 22—16.

În cazul rețelelor de joasă tensiune, voltmetrele sînt legate direct la rețea pe fiecare fază. O instalație mai economică folosește un singur voltmetru și un comutator voltmetric cu ajutorul căruia este posibilă măsurarea tensiunii între faze și pămînt în mod succesiv (fig. 22—17).

În figura 22—18 este prezentată schema pentru controlul tensiunii pe barele de curent continuu.

În regim normal, cele două voltmetre indică tensiuni egale. În caz de punere la pămînt a unei bare, valorile indicate de voltmetre devin inegale.

Întrebări recapitulative

1. Ce se măsoară cu voltmetrul și cum se montează el în circuit ?
2. Ce sînt rezistențele adiționale și cum se montează ele față de voltmetru ?
3. Cum se face controlul tensiunii pe barele de curent continuu ?

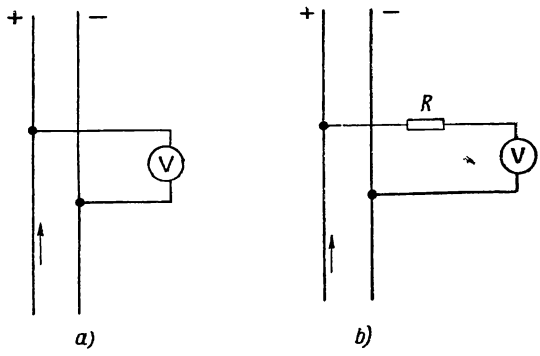


Fig. 22—14. Măsurarea tensiunii cu voltmetru :
a — legarea directă; *b* — legarea indirectă (prin rezistența adițională *R*).

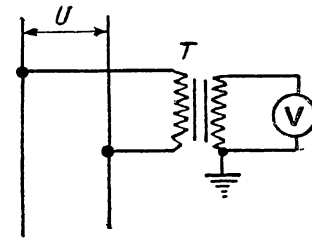


Fig. 22—15. Măsurarea indirectă a tensiunii cu transformator de tensiune.

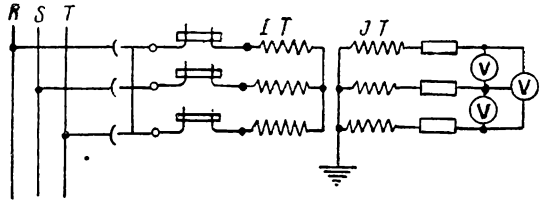


Fig. 22—16. Măsurarea tensiunii între faze într-un sistem trifazat.

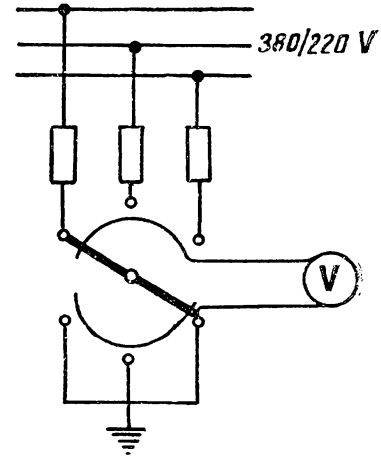


Fig. 22—17. Folosirea comutatorului voltmetric pentru măsurarea tensiunii pe fază în instalații de joasă tensiune.

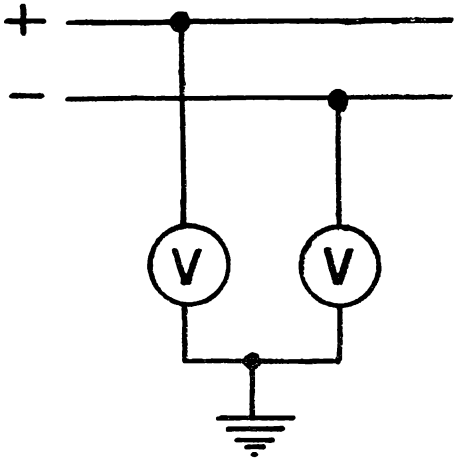


Fig. 22—18. Controlul tensiunii pe barele de curent continuu.

MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ȘI APARENTE

1. Măsurarea puterii în curent continuu

Relația cu care se calculează puterea electrică în curent continuu este

$$P = UI. \tag{22.6}$$

Dacă tensiunea U se dă în volți și curentul I în amperi, rezultă puterea P în wați. Din această relație rezultă că puterea poate fi determinată printr-o metodă indirectă, măsurîndu-se curentul și tensiunea și făcînd produsul indicațiilor respective.

2. Măsurarea puterii în curent alternativ

În curent alternativ se deosebesc :

— puterea aparentă $S = UI$, în VA (voltamperi) ;

— puterea activă $P = UI \cos \varphi$ în W ;

— putera reactivă $Q = UI \sin \varphi$, în var (voltamperi reactiv).

Metodele de măsurare se deosebesc în funcție de numărul fazelor rețelelor (mono sau trifazate).

Puterea aparentă se poate măsura prin utilizarea unui voltmetru și a unui ampermetru, montate în circuitul consumatorului de putere pe fiecare fază. Produsul dintre cele două valori măsurate reprezintă puterea aparentă. Metoda nu poate fi aplicată pentru măsurarea puterii active din cauza factorului de putere ($\cos \varphi$). Pentru măsurarea puterii active se folosesc wattmetrele.

De exemplu, indicațiile wattmetrului electrodinamic sînt proporționale cu puterea activă, deoarece forțele care se exercită între bobina mobilă și bobina fixă sînt proporționale cu curenții care străbat cele două bobine și cu cosinusul unghiului de defazaj dintre cei doi curenți. Prin bobina fixă trece chiar curentul I de măsurat, iar prin bobina mobilă trece un curent i proporțional și în fază cu tensiunea U. Rezultă că deplasarea acului indicator al wattmetrului este proporțională cu produsul $UI \cos \varphi$.

Pentru curenți pînă la 5 A și tensiuni pînă la 250 V bobina de curent se leagă direct în circuit, iar bobina de tensiune între două conductoare ca în figura 22—19.

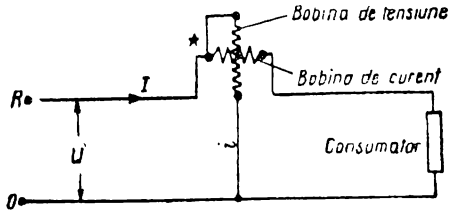


Fig. 22—19. Măsurarea puterii active monofazate prin legarea directă a wattmetrului.

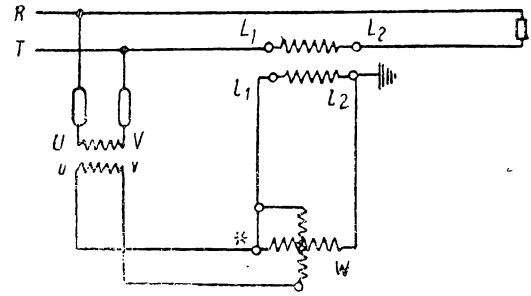


Fig. 22—20. Măsurarea puterii active monofazate prin legarea indirectă a wattmetrului.

Dacă într-una din bobine se schimbă sensul curentului, acul instrumentului bate în sens invers sensului normal. Pentru a se evita acest lucru, bornele de intrare ale wattmetrelor se marchează cu o steluță.

Cînd curentul depășește valoarea de 5 A și tensiunea de 650 V, se recurge la montarea reductoarelor de curent și de tensiune, cum se vede în figura 22 — 20.

Indicațiile wattmetrului trebuie înmulțite cu produsul rapoartelor de transformare ale transformatoarelor pentru a obține puterea reală:

$$P = K_1 K_2 UI \cos \varphi. \qquad (22.7)$$

În curent alternativ trifazat, metodele de măsurare sînt diferite, în funcție de încărcarea instalației: simetrică sau asimetrică.

Puterea aparentă se poate determina ca și în circuitele monofazate, montînd pe fiecare fază cîte un ampermetru și un voltmetru. Adunînd puterile de pe fiecare fază se obține puterea totală a circuitului trifazat.

Dacă sistemul este încărcat simetric, adică dacă fiecare fază are aceeași încărcare, se poate monta un voltmetru și un ampermetru pe una din faze. Puterea aparentă a întregului sistem trifazat este dată de puterea unei faze înmulțită cu trei.

Pentru măsurarea puterii active într-un circuit trifazic cu fir neutru se montează trei wattmetre ca în figura 22—21.

Bobinele de curent sînt legate în serie pe fiecare fază, iar bobinele de tensiune între faza respectivă și firul neutru. Pentru aparatele de tablou, cele trei wattmetre sînt cuprinse în același aparat, cele trei bobine mobile acționînd asupra aceluiași ax; acul acestuia indică direct puterea totală.

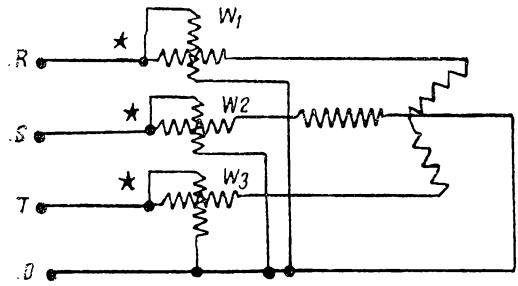


Fig. 22—21. Montaj cu trei wattmetre pentru măsurarea puterii active într-un sistem trifazat asimetric (dezechilibrat).

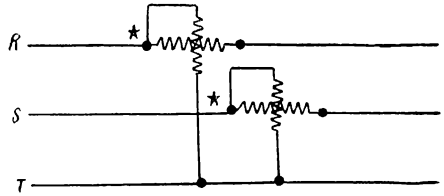


Fig. 22—22. Măsurarea puterii active cu două wattmetre într-un sistem trifazat echilibrat.

Aceste wattmetre se folosesc fie legate direct în circuit, fie prin transformatoare. Puterea se obține prin adăugarea puterilor celor trei faze.

Dacă cele trei faze sînt încărcate uniform se poate monta un singur wattmetru pe una din faze, puterea totală a sistemului obținîndu-se înmulțind indicațiile acestuia cu trei.

În circuitele trifazate fără fir neutru măsurarea puterii se poate face numai cu două wattmetre, ca în figura 22—22.

Bobinele de curent ale celor două wattmetre se leagă în serie pe două din faze. Bornele bobinelor de tensiune se leagă una la faza respectivă și cealaltă la faza rămasă liberă.

Puterea totală este egală cu suma puterilor indicate de cele două wattmetre. Din cauza greutăților de calcul, montajul cu două wattmetre separate nu se utilizează pentru instalații fixe de tablou. În aceste cazuri se instalează wattmetre pentru curent alternativ trifazat, construite pe baza principiului celor două wattmetre. Cele două bobine mobile ale wattmetrelor acționează asupra aceluiași ax, astfel încît prin mișcarea lor comună se face direct adunarea puterilor măsurate de cele două wattmetre. Dacă se folosesc reductoare de măsurare, scara este gradată, ținîndu-se seama de raportul de transformare. În felul acesta puterea totală se poate citi direct pe aparatul de tablou.

Dacă rețeaua este echilibrată și fără fir neutru, puterea se poate măsura folosindu-se un singur wattmetru legat ca în figura 22—23.

Bobina de curent se montează pe o fază. Una din bornele bobinei de tensiune se leagă la aceeași fază, iar cealaltă la un punct neutru creat artificial cu ajutorul unor rezistențe R_1 și R_2 egale în valoare fiecare cu rezistența bobinei de tensiune a wattmetrului.

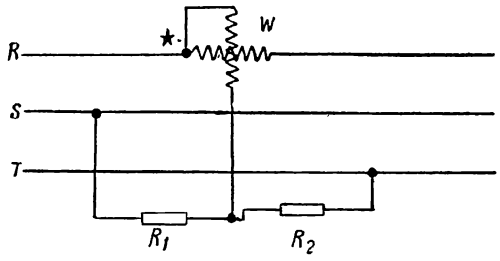


Fig. 22—23. Măsurarea puterii active cu un singur wattmetru într-un sistem trifazat echilibrat fără fir neutru.

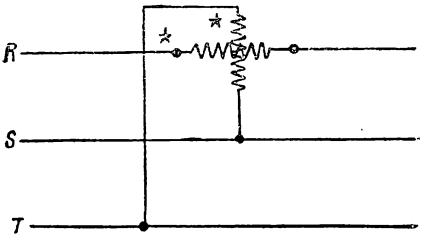


Fig. 22—24. Măsurarea puterii reactive într-un sistem trifazat echilibrat.

Întrebări recapitulative

1. Care este principiul de funcționare al wattmetrului și din ce se compune el?
2. Cum se măsoară puterea în circuitele de curent alternativ monofazate?
3. Cum se măsoară puterea în circuitele trifazate?

MĂSURAREA PUTERII REACTIVE

Puterea reactivă a sistemelor trifazate se măsoară direct cu ajutorul varmetrelor. Legăturile acestora în rețeaua electrică sînt efectuate altfel decît ale wattmetrelor, însă ca principiu de construcție nu se deosebesc de wattmetre.

Figura 22—24 cuprinde schema de montaj pentru măsurarea puterii reactive într-un circuit trifazat încărcat simetric fără fir neutru. Bobina de curent se leagă pe una dintre faze, iar bobina de tensiune se leagă între celelalte două faze. Pentru aflarea puterii întregului sistem indicațiile aparatului se înmulțesc cu trei.

În cazul rețelelor trifazate cu trei sau patru conductoare încărcate neechilibrat se folosește montajul cu trei varmetre reprezentat în figura 22—25.

Bobinele de curent se intercalează pe cîte o fază, iar cele de tensiune corespunzătoare se leagă între celelalte două faze.

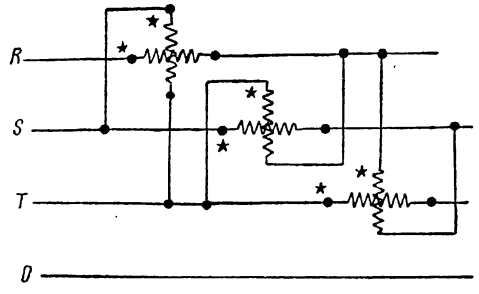


Fig. 22—25. Măsurarea puterii reactive cu trei varmetre.

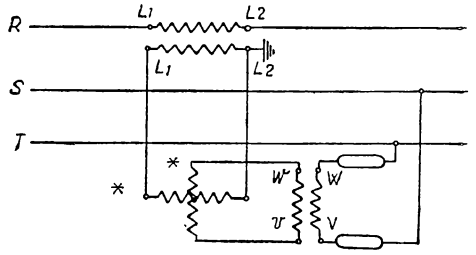


Fig. 22—26. Măsurarea puterii reactive într-un sistem trifazat echilibrat de înaltă tensiune.

Puterea reactivă a întregului sistem trifazat se află făcîndu-se suma indicațiilor instrumentelor și împărțindu-se rezultatul la $\sqrt{3}$. Ca și wattmetrele, varmetrele de tablou se construiesc trifazate, în aceeași carcasă și cu ax comun.

Dacă este necesar să se măsoare puterea activă sau reactivă pe o rețea de înaltă tensiune, wattmetrele și varmetrele se leagă la rețea prin intermediul reductoarelor de tensiune și curent.

În figura 22—26 s-a reprezentat o schemă pentru măsurarea puterii reactive într-un sistem trifazat echilibrat de înaltă tensiune.

Pentru măsurarea puterii active schema folosită este asemănătoare.

În astfel de cazuri, pentru determinarea puterii pe rețea valorile indicate de varmetru sau wattmetru trebuie multiplicate cu rapoartele de transformare ale reductoarelor.

Întrebări recapitulative

1. Cu ce se măsoară puterea reactivă?
2. Cum se conectează un varmetru în circuit?

MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE

Energia consumată de un receptor se măsoară cu ajutorul contoarelor de energie.

În principiu, un contor este un mic motor electric, care se învîrtește cu o viteză proporțională cu puterea consumată în circuitul în care este

montat. Numărul total de rotații pe care axul contorului îl face într-un timp dat este proporțional cu energia consumată. Pentru aceasta, axul antrenează un mecanism înregistrator, care indică direct energia în kWh. În figura 22–27 este dată schema de principiu a unui astfel de contor.

Bobina de curent de pe miezul *1* este parcursă de curentul de rețea; bobina de pe miezul *2* este bobina de tensiune și se leagă în circuit în derivație.

Sub acțiunea cîmpurilor produse de bobina de curent și de bobina de tensiune se creează un cîmp învîrtitor, care pune în mișcare discul *3*. Rotațiile discului, proporționale cu energia care trece prin contor, sînt înregistrate de un mecanism.

Ansamblul de bobine și discul se numește sistem propulsor.

Contorul monofazat de inducție are un singur sistem propulsor. În circuitele trifazate cu trei conductoare se montează contoare cu două

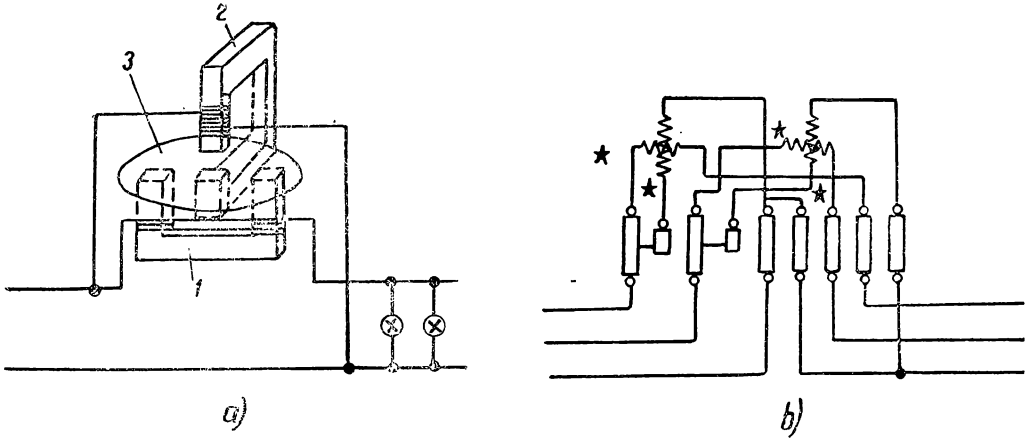


Fig. 22–27. Contor trifazat:
a — principiul de funcționare; *b* — schema de conexiuni.

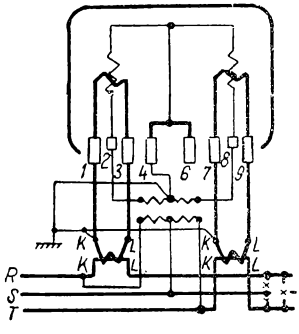


Fig. 22–28. Contor activ cu transformatoare de curent și de tensiune.

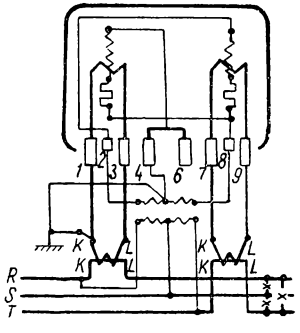


Fig. 22–29. Contor reactiv cu transformator de curent și de tensiune.

sisteme propulsoare, iar pentru sistemele cu patru conductoare se montează contoare cu trei sisteme propulsoare. De asemenea, se construiesc și contoare de energie reactivă. Schemele de legare a contoarelor în circuit sînt asemănătoare cu ale wattmetrelor.

În figura 22—28 s-a reprezentat un contor activ cu două echipamente mobile montat la o rețea trifazată, prin intermediul reductoarelor de tensiune și curent, iar în figura 22—29 un contor de energie reactivă de construcție identică cu cel din figura 22—28.

Întrebări recapitulative

1. Cu ce se măsoară energia electrică?
2. Care este principiul de funcționare a contorului cu inducție?
3. Din ce se compune sistemul propulsor al unui contor?

MĂSURAREA FACTORULUI DE PUTERE A REZISTENȚEI DE IZOLAȚIE ȘI A TEMPERATURII

1. Măsurarea factorului de putere

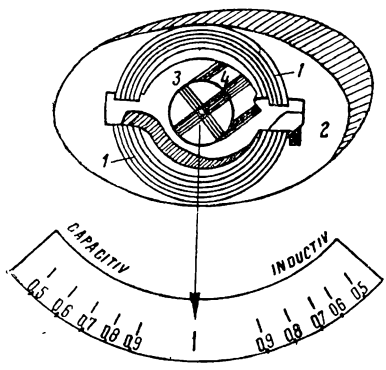
Măsurarea factorului de putere (cos φ) se execută cu un aparat numit cosfimetru sau fazmetru.

În principiu, un astfel de aparat (fig. 22—30) este compus dintr-o bobină *1* (parcursă de curentul *I*), fixată pe carcasa *2*, și din două bobine *3* și *4*, așezate pe un tambur în planuri perpendiculare. Bobinele *3* și *4* sînt parcurse de curenții I_1 și I_2 și sînt legate în circuit în derivație.

Curentul *I* împreună cu curenții I_1 și I_2 creează două cupluri. Sub acțiunea acestor cupluri bobinele *3* și *4* se rotesc cu un anumit unghi, oprindu-se în poziția în care cuplurile se echilibrează.

Cuplul, deci și unghiul de deplasare a acului indicator, depind de valoarea unghiului de decalaj φ dintre vectorii tensiune și curent. De aceea scara aparatului este gradată în valorile unghiului φ sau în cos φ.

Factorul de putere are o importanță deosebită. Cu cît factorul de putere este mai apropiat de unitate, cu atît transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice se execută mai economic.



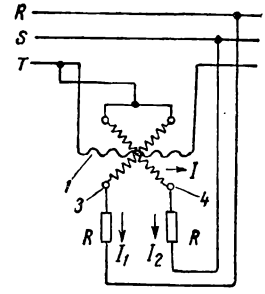


Fig. 22—30. Schema de principiu și de montaj a cosfimetrului.

Un factor de putere scăzut conduce la următoarele inconveniente:
— necesitatea măririi puterii centralelor electrice și a transformatoarelor;
— scăderea randamentului generatoarelor și transformatoarelor;
— mărirea pierderilor de energie în conductorii de legătură și mărirea secțiunii conductoarelor.

Din această cauză trebuie luate măsuri pentru îmbunătățirea factorului de putere. Printre metodele de mărire a factorului de putere se numără:
— alegerea corectă a tipului, a puterii și a numărului de rotații la motoarele nou montate;
— mărirea sarcinii motoarelor aproape sau la puterea nominală;
— limitarea mersului în gol a mașinilor electrice;
— folosirea conductoarelor statice.

2. Măsurarea rezistenței de izolație

Orice instalație electrică trebuie să prezinte o rezistență de izolație suficient de mare, astfel încît să se reducă la minimum pierderile prin scurgeri de curent.

Valorile admisibile ale rezistențelor de izolație sînt cuprinse în prescripțiile de exploatare a instalațiilor electrice.

Rezistența de izolație se măsoară cu ohmmetre sau megohmmetre.

În principiu, ohmmetrul se compune dintr-un miliampermetru legat în serie cu o sursă de curent. Dacă se leagă rezistența necunoscută la bornele aparatului în circuit se stabilește un curent pe care miliampermetrul îl măsoară. Dacă sursa produce mereu aceeași forță electromotoare, mili-

ampermetrul indică mereu același curent pentru o aceeași rezistență montată la borne. Pentru o anumită sursă se poate grada scara miliampermetrului direct în valorile corespunzătoare ale rezistenței, în ohmi sau megohmi.

Alimentarea ohmmetrelor poate fi asigurată de la baterii electrice sau de la un dinam acționat cu o manivelă, care face parte integrantă din aparat.

3. Măsurarea temperaturilor

Măsurarea temperaturii aparatelor în funcțiune se execută cu ajutorul termometrelor. De exemplu, la transformatoarele pentru determinarea temperaturii uleiului se instalează termometre în capacul cuvei. Acestea pot fi simple sau cu contacte de semnalizare. În figura 22—31 este prezentat un termometru prevăzut cu contacte de semnalizare. Coloana de mercur, ajungînd la temperatura maximă permisă pentru ulei, închide contactele circuitului de semnalizare. La transformatoarele cu puteri peste 1 000 kVA, în afară de termometre cu mercur se instalează și semnalizatoare termometrice (fig. 22—32).

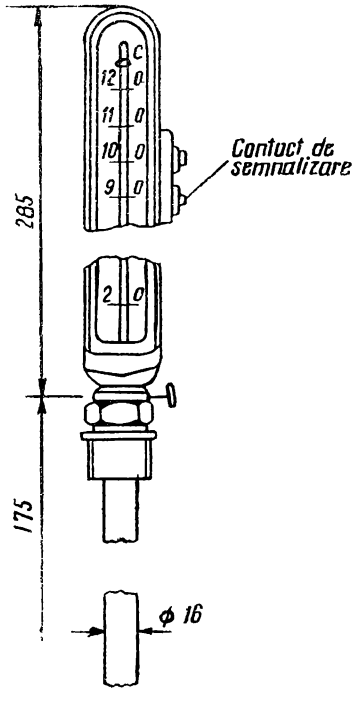
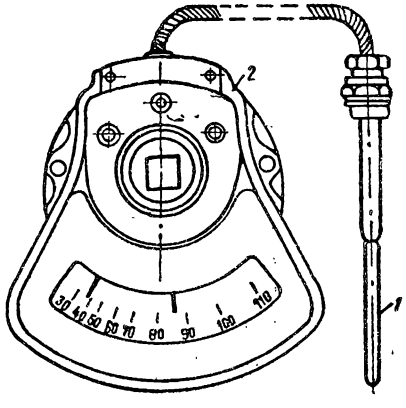


Fig. 22—31. Termometru cu mercur și contacte de semnalizare.

Fig. 22—32. Semnalizator termometric-manometric.



Semnalizatorul termometric indică temperatura uleiului. El constă dintr-un receptor de căldură *1* instalat în deschizătura din capacul cuvei și dintr-un aparat manometric cu resort tubular, montat în corpul semnalizatorului *2*. Aparatul se fixează pe corpul transformatorului la înălțimea omului. Receptorul de căldură se leagă de corpul aparatului printr-un tub capilar flexibil.

Receptorul de căldură, tubul capilar și resortul tubular sînt umplute cu un lichid cu temperatură joasă de fierbere. La încălzire, lichidul se dilată și presiunea sa se transmite, prin tubul capilar, resortului legat de acul indicator al aparatului, care se gradează direct în grade Celsius. Aparatul este prevăzut și cu contacte care închid circuitele de semnalizare acustică sau circuitele de deconectare ale transformatorului, atunci cînd temperatura uleiului atinge valoarea maximă admisibilă.

Întrebări recapitulative

1. Cum se numește aparatul cu care se măsoară factorul de putere?
2. Care sînt dezavantajele unui factor de putere scăzut?
3. Cu ce se măsoară rezistența de izolație?
4. Ce fel de termometre se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în instalațiile electrice?

APARATE ÎNREGISTRATOARE

În multe cazuri este necesar ca variația mărimilor măsurate să fie înregistrate pe diagrame. Aparatele care înregistrează variația mărimilor măsurate se numesc aparate înregistratoare.

Orice aparat înregistrator are un dispozitiv de măsurare cu indicator, a cărui poziție se imprimă pe hîrtie. Hîrtia se deplasează cu o viteză constantă, dată de un mecanism special.

În figura 22—33 se arată principiul de funcționare al unui aparat înregistrator cu peniță. Banda de hîrtie *1* se deplasează cu o anumită viteză. Penița *2* este prevăzută cu un tub capilar *3*, în care se pune cerneală. Acul aparatului *6* are formă de S. Mișcarea acului este amortizată de magnetul permanent *7*. Acul înregistrează curba *4* de variație a mărimii de măsurat. Perforațiile *5* servesc pentru angrenarea cu dispozitivul de mișcare al benzii.

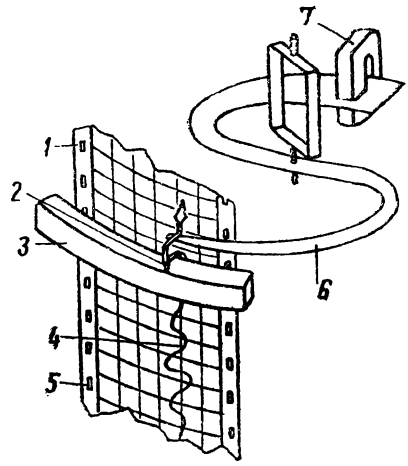


Fig. 22 33. Dispozitiv înregistrator cu mișcare circulară a peniței.

Viteza de deplasare se poate regla de la dispozitivul de antrenare. Cu cît viteza de deplasare a benzii este mai mică, cu atît variațiile mărimii de măsurat sînt imprimate mai amănunțit.

În centralele și stațiile mari se instalează aparate mai complicate și mai perfecționate, care permit înregistrarea perturbațiilor în mod automat la apariția unui deranjament.

Din această categorie de aparate se enumără :

- osciloperturbograful Mosson Carpentier ;
- oscilograful electromecanic de fabricație sovietică tip МПО 2 sau Н 102 Т ;
- magnetoperturbograful.

Primul aparat folosește pentru înregistrare tamburi cu hîrtie pe care se înregistrează variația parametrilor.

Al doilea aparat folosește pentru înregistrare peliculă de film, iar al treilea aparat folosește pentru înregistrare banda de magnetofon.

Dezavantajul ultimelor două aparate este acela că interpretarea fenomenelor care s-au produs la avarie se poate face numai după prelucrarea peliculei, respectiv a benzii de magnetofon, pe cînd la osciloperturbograf înregistrarea poate fi studiată imediat după funcționarea aparatului.

Întrebări recapitulative

1. Unde se folosesc aparatele înregistratoare ?
2. Care sînt părțile componente ale unui aparat înregistrator ?
3. Ce fel de oscilografe se folosesc în sectorul energetic ?

MONTAREA APARATELOR DE MĂSURAT ȘI CONTROL

Aparatele de măsurat și control instalate pe tablourile stației trebuie să permită următoarele :

— controlul funcționării transformatoarelor, liniilor și al stației întregi, în interconexiune cu sistemul ;

— controlul sarcinii circuitelor electrice în scopul prevenirii regimurilor anormale și periculoase (suprasarcini) ;

— controlul calității energiei electrice (tensiunea, frecvența etc.) ;

— ținerea evidenței energiei electrice consumate pentru serviciile interne și a celei furnizate consumatorilor ;

— controlul tensiunilor ;

— controlul temperaturii aparatajului din instalații și în special al temperaturii transformatoarelor.

În posturile de transformatoare, în general, nu se montează aparate de control. În astfel de instalații se instalează de obicei contoare pentru măsurarea energiei active și reactive absorbite de consumatori.

Dacă contoarele se instalează pe partea de înaltă tensiune a transformatorului este necesar să se monteze reductoare de curent și tensiune. În acest caz contoarele măsoară energia consumată de abonați, pierderile pe liniile de plecare, cît și pierderile din transformatoarele de forță (montaj amonte). Dacă se instalează pe partea de joasă tensiune (montaj aval) aparatele determină pierderile pe liniile de plecare și energia consumată de abonați. Uneori în posturi se renunță la montarea contoarelor, acestea montîndu-se chiar la consumatori. Într-o astfel de situație pierderile pe liniile de alimentare a consumatorilor, precum și cele din transformatoare se suportă de întreprinderea de exploatare.

Controlul funcționării posturilor de transformare se face de la stația care alimentează aceste posturi prin intermediul aparatelor care sînt montate în stație.

Orice deranjament produs într-un post se sesizează la stație, luîndu-se măsuri imediate pentru înlăturarea lui.

1. Circuitul transformatorului

Sarcina limită admisibilă a transformatorului este determinată de încălzirea lui, care depinde de valoarea curentului din bobinaje și de condițiile de răcire. Aparatul principal cu care se controlează sarcina transforma-

torului este ampermetrul instalat pe una din faze. Pe scara ampermetrului se trasează o linie roșie, corespunzătoare curentului nominal al transformatorului. Pentru măsurarea directă a temperaturii uleiului din transformator se instalează termometre cu mercur și termometre manometrice.

La transformatoarele ridicătoare și coborîtoare din stații se instalează wattmetre și varmetre, în scopul determinării puterilor date în rețea sau primite de la rețea. Cu ajutorul acestor aparate se întocmesc graficele de sarcină ale transformatoarelor. Pentru evidența energiei totale se instalează un contor de energie activă și unul de energie reactivă.

La transformatoarele pentru serviciile interne ale stației electrice se instalează un ampermetru, un wattmetru și un contor activ. În circuitele pentru iluminat se instalează trei ampermetre în circuitul secundar al transformatorului și un contor activ.

2. Linii de plecare

Pentru liniile scurte, în cablu, prin care energia circulă numai într-un sens, se poate monta numai un ampermetru pe o fază, pentru controlul sarcinii, și un contor de energie activă, pentru evidența energiei livrate de la barele stației. Pentru stabilirea tarifului energiei furnizate este necesar să se instaleze și un contor de energie reactivă, servind la determinarea factorului de putere mediu al sarcinii. Pe liniile importante se instalează wattmetre și varmetre.

Pe liniile aeriene de la 35 kV în sus se instalează trei ampermetre, ceea ce permite să se descopere întreruperea fără punere la pămînt a conductorului unei faze. Existența celor trei ampermetre permite de asemenea să se descopere și faza care este pusă la pămînt în sistemul cu neutrul legat la pămînt.

3. Bare colectoare

După indicațiile aparatelor instalate pe barele colectoare se execută controlul calității energiei furnizate. Pe fiecare secție a barelor colectoare se instalează voltmetre pentru controlul tensiunii pe bare. Acestea indică în orice moment starea izolației fiecărei faze față de pămînt, semnalizînd (prin valoarea tensiunii indicate) orice defecțiune (de exemplu, punerea unei faze la pămînt). În acest caz, voltmetrul montat pe faza pusă la pămînt indică valoarea zero, iar celelalte voltmetre montate pe fazele sănătoase indică o tensiune de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea normală.

Întrebări recapitulative

1. Cu ce fel de aparate de măsurat sînt prevăzute transformatoarele?
2. Cu ce aparate de măsurat sînt echipate liniile de plecare și barele colectoare?

APARATE DE MĂSURAT PORTATIVE

Pentru diferite verificări și măsurări în locurile unde nu se dispune de aparate de măsurat fixe se folosesc aparate portative și truse de măsurat.

Dintre aparatele portative cele mai răspîndite sînt ampermetrul, voltmetrul, wattmetrul, voltampermetrul universal, puntea Wheatstone etc.

Aparatele de măsurat portative sînt de clasă 0,5 sau cu una sau mai multe scări gradate. Pentru a fi protejate sînt introduse în cutii de bachelită sau de lemn.

Pentru a se realiza o citire exactă, unele dintre ele au sub scară o oglindă îngustă în formă de arc de cerc, paralelă cu scara. Citirea se face astfel încît ochiul să vadă suprapunîndu-se acul aparatului cu imaginea lui din oglindă.

Voltampermetrele universale, cunoscute sub denumirile de fabricație („Zip", „Multavi", „Avometru" etc.), sînt aparate magnetoelectrice cu oglindă și cu redresor pentru măsurarea mărimilor continue și alternative. Cu ajutorul unui buton, acestea se pot comuta pentru a măsura în curent continuu sau alternativ. Cu ajutorul unui alt buton, aparatele pot fi comutate pentru măsurarea unor valori mai mari sau mai mici ale curentului sau ale tensiunii.

Pentru măsurarea curenților mari din circuite care depășesc valorile limită de măsurare a ampermetrelor sau curentul maxim admisibil prin înfășurările de curent ale wattmetrelor, varmetrelor etc., se folosesc transformatoare de intensitate portabile în formă de tor cu clase de precizie 0,2—0,5.

Acestea au două înfășurări: înfășurarea primară și înfășurarea secundară (dimensionată pentru un curent maxim de 5 A). Înfășurarea primară se intercalează în circuitul al cărui curent trebuie determinat, iar înfășurarea secundară se leagă la instrumentul de măsurat. La curenți mari, primarul transformatorului este constituit din însuși conductorul al cărui curent trebuie determinat și care se trece o singură dată sau de mai multe

ori prin golul torului. Raportul de transformare al transformatorului depinde de numărul de spire formate prin trecerea conductorului prin golul torului și este înscris pe plăcuța reductorului.

Valorile citite pe instrumentul de măsurat (ampermetru) se înmulțesc cu raportul de transformare, determinînd în acest fel curentul prin conductor.

Reducerea tensiunilor la valorile maxime care se pot măsura direct cu voltmetrele sau cele admisibile pentru bobinele de tensiune ale wattmetrelor, varmetrelor, contoarelor se realizează cu transformatoare de tensiune prevăzute cu izolație corespunzătoare.

Tensiunea circuitului primar se determină înmulțind valorile citite cu raportul de transformare al reductorului de tensiune.

Transformatoarele de tensiune au și ele clase bune de precizie.

Un dispozitiv mult utilizat pentru măsurarea curentului este cleștele ampermetric. Acesta constă dintr-un circuit magnetic în formă de clește, care se poate deschide și cuprinde între fălcile sale conductorul străbătut de curent. Manevrarea cleștelui se face cu ajutorul mînerelor izolante, a căror lungime depinde de tensiunea instalației. Pe miezul de fier în formă de clește se află o bobină, la bornele căreia se leagă un milivoltmetru gradat în amperi. Bobinajul primar al reductorului este constituit chiar de conductorul de înaltă tensiune.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt aparatele de măsurat portabile cele mai des folosite?
2. Pentru care clase de precizie se realizează aparatele de măsurat și transformatoarele de măsură portabile?
3. Din ce este constituit cleștele ampermetric?

EXPLOATAREA ȘI ÎNTREȚINEREA APARATELOR DE MĂSURAT ȘI CONTROL

Aparatele de măsurat și control stabile sau portabile trebuie întrebuințate și întreținute corect, deoarece altfel se pot ușor deteriora.

Cauzele de deteriorare a aparatelor electrice de măsurat sînt:

— supraîncărcările electrice;

— șocurile mecanice ;

— păstrarea în condiții neprielnice : umezeală, temperaturi prea ridicate sau prea scăzute, atmosferă corosivă sau cu impurități etc.

Supraîncărcările electrice sînt cele mai frecvente cauze de deteriorare a aparatelor electrice și se produce în general din cunoașterea în suficientă măsură a aparatelor și a neatenției personalului.

Pentru evitarea deteriorării aparatelor prin suprasolicitări electrice trebuie luate următoarele măsuri :

— ampermetrele și voltmetrele cu mai multe domenii de măsurare se vor lega în circuite, alegînd în totdeauna domeniul de măsurare potrivit curentului, respectiv tensiunii maxime de măsurat.

Cînd nu se dispune de nici o indicație asupra valorilor de măsurat, se alege domeniul maxim de măsurare al aparatului, urmînd a limita acest domeniu ulterior, în așa fel ca citirile să fie făcute ușor și corect.

— Se va respecta polaritatea înscrisă pe instrument prin realizarea de legături corecte.

— Toate aparatele destinate să funcționeze cu șunturi sau rezistențe adiționale nu vor fi niciodată utilizate fără aceste accesorii.

— Diversele aparate de laborator, rezistențele de precizie, condensatoarele și inductanțele etalon etc., nu vor fi supuse în nici un caz unor curenți sau unor tensiuni mai mari decît cele admise.

— Nu se va lucra niciodată cu o punte de măsură pînă nu i se cunoaște schema electrică și părțile componente.

— Nu se va alimenta circuitul primar al unui transformator de curent cît timp nu se constată că circuitul secundar este legat de aparatul de măsurat sau este scurtcircuitat.

Pentru evitarea deteriorării aparatelor prin șocuri mecanice se recomandă :

— Transportul aparatelor de măsurat cu automobilele sau cu alte mijloace de transport trebuie făcut în cutii căptușite cu burete.

— Dacă aparatele sînt prevăzute cu dispozitiv de blocaj al echipamentului mobil, acesta se va bloca pe tot timpul transportului, avîndu-se grije ca la destinație deblocarea să se facă cu grijă, pentru a nu se deteriora suspensia echipajului mobil.

Manipularea aparatelor se va face cu precauție, ferindu-le de șocuri mecanice.

— Respectarea domeniului de măsurare al aparatului. Dacă domeniul de măsurare ales este prea mic, acul indicator deviază brusc, depășind limitele instrumentului, avînd consecință fie îndoirea, fie ruperea lui prin lovirea de opritor.

Pentru buna păstrare a instrumentelor de măsurat trebuie avute în vedere următoarele :

— Aparatele trebuie păstrate în locuri ferite de umezeală, praf și atmosferă corosivă la temperaturi ambiante de circa 20 °C.

— Aparatele se vor păstra în dulapuri închise și în cutiile lor.

Pentru a se obține rezultate corecte la măsurări se vor respecta următoarele :

— Periodic aparatele se vor supune verificării de către organele de metrologie, care le vor reetalona și corecta.

— Aparatele vor fi folosite în poziția lor de etalonare indicată pe aparat.

— Înainte de utilizare, acul aparatului se va regla la poziția zero a scalei, cu ajutorul dispozitivului de punere la zero (la cele prevăzute cu acest dispozitiv).

— Geamul aparatului se va șterge periodic de praf, după ce în prealabil se va aburi pentru anularea sarcinii electrostatice provenite din frecarea lui.

— Fișele cordoanelor folosite vor fi bine curățate de murdărie sau de oxizi.

— Aparatele de măsurat se vor feri de influența cîmpurilor magnetice și electrice exterioare, avînd grijă ca ele să nu fie așezate în apropiere de mașini, transformatoare sau conductoare electrice prin care circulă curenți de intensitate mare.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele cauze care pot provoca deteriorarea aparatelor de măsurat electrice ?
2. Ce măsuri se iau pentru evitarea suprasolicitării electrice a aparatelor de măsurat electrice ?
3. Ce măsuri trebuie luate pentru a evita deteriorarea mecanică a aparatelor de măsurat electrice ?
4. Ce condiții trebuie respectate pentru obținerea de rezultate bune atunci cînd se fac măsurări electrice ?

Simbol	Semnificația simbolului
	Aparat magnetoelectric folosit numai pentru curent continuu.
	Aparat electrodinamic folosit pentru curent alternativ și continuu
	Aparat electrodinamic cu ecran magnetic.
	Aparat electromagnetic pentru curent continuu și alternativ.
	Aparat de inducție folosit numai în curent alternativ.
	Aparat termic folosit în curent alternativ și continuu.
	Aparat electrodinamic cu bobine încrucișate folosit în curent alternativ și continuu.
	Aparat electrodinamic fără fier și bobine încrucișate folosit în curent alternativ și continuu.
	Aparat electrodinamic cu fier și bobine încrucișate pentru folosire în curent alternativ și continuu.
	Poziția de întrebuințare a aparatului : verticală.
	Poziția de întrebuințare a aparatului : orizontală.
	Aparat de curent alternativ.
	Aparat de curent continuu.
	Tensiune de încercare a aparatului 5 kV. Lipsa cifrei din stea indică tensiunea de încercare de 0,5 kV.

Fig. 22—34. Simboluri folosite la marcarea aparatelor de măsurat.

Capitolul XXIII

PROTECȚIA INSTALAȚIILOR ELECTRICE ȘI AUTOMATIZAREA LOR

INSTALAȚII DE PROTECȚIE CONTRA SUPRATENSIUNILOR

1. Supratensiunile în liniile electrice aeriene

În instalațiile electrice pot apărea, în anumite cazuri, tensiuni mai mari decît cele normale, numite în general supratensiuni.

Supratensiunile pot atinge uneori valori periculoase și astfel să producă avarii în instalații, prin conturnarea sau străpungerea izolatoarelor, arderea conductoarelor și a aparatelor etc.; ele se pot produce fie din cauze exterioare, fie din cauze interioare.

Supratensiunile din cauze exterioare apar în urma descărcărilor atmosferice. Descărcările atmosferice se pot produce chiar asupra conductoarelor sau a stîlpilor liniei (lovituri directe de trăsnet). Dacă descărcarea se produce în apropierea liniei, supratensiunea se creează prin inducție și are valori în general mai mici decît în cazul loviturilor directe.

Supratensiunile de origine internă iau naștere în toate circuitele rețelelor electrice, prin trecerea bruscă de la un regim de funcționare la altul, mai ales cînd se întrerup curenții reactivi (cu defazaj mare față de tensiune). De exemplu, apar supratensiuni la întreruperea liniilor lungi în gol, la scoaterea sau punerea sub tensiune a transformatoarelor mari etc. În liniile cu neutrul izolat mai apar supratensiuni în fazele sănătoase, cînd există o punere la pămînt pe una din faze.

Supratensiunile se propagă în sistemul electric sub formă de unde, pătrunzînd în toate elementele sistemului, inclusiv în aparate și în înfășurările transformatoarelor, punînd în pericol izolația acestora. De aceea protecția împotriva supratensiunilor constituie o condiție obligatorie pentru funcționarea sigură a unui sistem electroenergetic.

Împotriva loviturilor directe de trăsnet se folosesc paratrăsnetele și conductoarele de protecție. Împotriva supratensiunilor induse și de co-

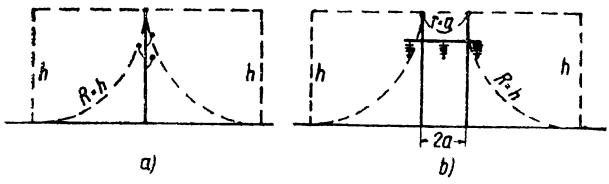


Fig. 23—1. Protecția liniilor prin conductoare de protecție:
a — linie pe stîlpi simpli; b — linie pe stîlpi portal

mutație se iau măsuri pentru eliminarea cît mai rapidă a efectelor lor. Pentru aceasta, în anumite puncte ale instalațiilor se montează descărcătoare, adică se creează în mod voit puncte cu izolație slabă.

2. Conductoarele de protecție

Conductorul de protecție, numit și fir de gardă sau fir de pămînt, este un conductor care se montează pe linia electrică aeriană, deasupra conductoarelor active. Conductorul de protecție trebuie să fie legat la pămînt la fiecare stîlp.

Sub conductorul de protecție se creează o zonă protejată, în interiorul căreia nu se pot produce lovituri de trăsnet. De aceea, la proiectarea unei linii se caută să se așeze astfel conductoarele, încît să se găsească înăuntrul acestei zone. Unghiul format de verticală și linia care unește conductorul de protecție cu conductorul activ se numește unghi de protecție. La liniile unde protecția nu poate fi asigurată cu un singur conductor, cum este cazul la stîlpii portal, se utilizează două conductoare de protecție. Zona de protecție creată de conductoarele de protecție se poate determina aproximativ cu ajutorul unor arce de cerc, așa cum rezultă din figura 23—1.

Cînd un trăznet lovește conductorul de protecție, în conductoarele active se creează unde de supratensiune și curenți de șoc, care se deplasează în lungul liniei, de o parte și de alta a punctului unde a avut loc lovitura. Deoarece conductorul de protecție este legat la pămînt, curenții se scurg prin aceste puncte și, în scurt timp, undele se amortizează. Datorită faptului că prin conductoarele de protecție trec curenți de șoc, care au uneori valori foarte mari, secțiunea conductorului de oțel nu trebuie să fie sub anumite limite, pentru a se evita pericolul de topire. În mod obișnuit, pentru conductoarele de protecție se folosește funie de oțel zincat cu secțiunea de 70, 50 și 35 mm².

Conductorul de protecție prezintă dezavantajul că scumpește liniile electrice aeriene. De aceea, el se folosește pe toată lungimea liniei numai la liniile

foarte importante sau la liniile mai puțin importante, numai în zonele cu descărcări atmosferice frecvente. La liniile de 35 kV se obișnuiește să se monteze conductoare de protecție numai în apropierea stațiilor, pe o distanță de 1—2 km, și numai în zonele cu descărcări atmosferice frecvente.

3. Paratrăsnetele

Pentru protejarea instalațiilor electrice împotriva loviturilor directe de trăsnet se folosesc paratrăsnetele verticale cu tijă Franklin. Un astfel de paratrăsnet constă dintr-o tijă metalică cu vîrf ascuțit, montată vertical pe un suport înalt și legată la pămînt printr-un conductor. El se montează lîngă instalația care trebuie protejată contra loviturilor directe de trăsnet. Datorită faptului că paratrăsnetul este mai înalt decît instalația de protejat și are un vîrf ascuțit, trăsnetul cade asupra lui; cantitatea de electricitate care a produs trăsnetul se scurge astfel prin conductor la pămînt. Paratrăsnetele se folosesc în special la protecția stațiilor de transformare și, mai rar, la liniile aeriene. Eficacitatea lor depinde de înălțimea pe care o au deasupra instalațiilor protejate și de distanța pînă la aceste instalații.

Zona protejată de paratrăsnet se poate calcula cu ajutorul unor formule stabilite experimental. Pentru un paratrăsnet izolat, zona de protecție formează un „cort", așa cum se vede în figura 23—2. Raza r_x a cercului care

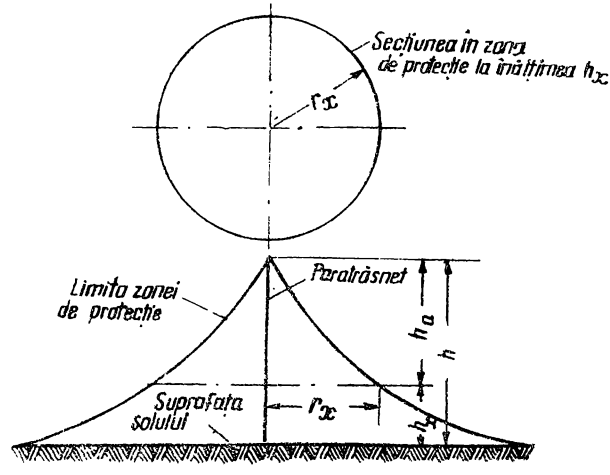


Fig. 23—2. Zona de protecție a unui paratrăsnet.

reprezintă limita zonei de protecție la o anumită înălțime h_x se determină cu ajutorul formulei

$$r_x = \frac{1{,}6h_a}{1 + \frac{h_a}{h}} \qquad (23.1)$$

în care : h este înălțimea paratrăsnetului ;
h_x — înălțimea obiectului care trebuie protejat ;
h_a — diferența $h - h_x$.

În cazul cînd o stație nu poate fi protejată de un singur paratrăsnet se folosesc două sau mai multe stații repartizate astfel încît să acopere toată suprafața stației.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică supratensiunile după cauza care le-a generat ?
2. Cum se face protecția liniilor prin conductoare de protecție ?
3. Ce sînt paratrăsnetele și unde se montează ele ?

DESCĂRCĂTOARELE

Descărcătoarele sînt aparate care la tensiunea nominală a instalației, au o rezistență de izolație corespunzătoare, însă în momentul în care apare o supratensiune se produce o descărcare la pămînt, pînă în momentul în care tensiunea revine la valorile normale.

Descărcătoarele pot fi cu coarne de protecție în aer, tubulare și cu rezistență variabilă.

Descărcătorul cel mai simplu este descărcătorul cu coarne. Locul de descărcare este spațiul dintre două coarne metalice. Unul dintre coarne este legat la conductor, iar celălalt la pămînt, prin intermediul unei rezistențe R (fig. 23—3). Coarnele C sînt dispuse astfel încît arcul electric care se stabilește între ele în cursul descărcărilor să se ridice în sus și, alungindu-se, să se stingă. Dacă nu ar exista rezistența R, la străpungerea intervalului dintre coarne tensiunea conductorului față de pămînt ar scădea brusc la zero, ceea ce ar provoca deranjamente în rețea. Dezavantajul acestor descărcătoare este că între coarne se pot așeza păsări sau se pot depune murdării,

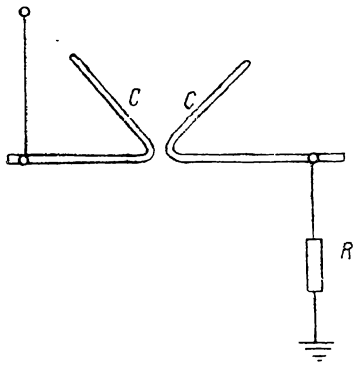


Fig. 23—3. Descărcător cu coarne.

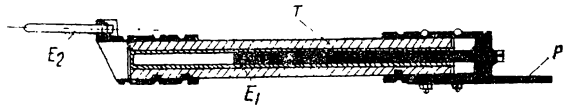


Fig. 23—4. Descărcător tubular.

producîndu-se astfel puneri la pămînt nedorite și deranjamente în exploatare. Fiind foarte simple se utilizează la rețelele de 6—15 kV la care curenții de scurgere la pămînt nu sînt prea mari.

Descărcătoarele tubulare se folosesc la liniile electrice, pentru că sînt foarte simple atît în ceea ce privește construcția, cît și principiul lor de funcționare, și pentru că prezintă siguranță suficientă în exploatare.

Un astfel de descărcător este reprezentat în figura 23—4. El este format dintr-un tub T de fibră, bachelită sau sticlă organică cu pereți groși, închis într-o parte, în interiorul căruia sînt fixați doi electrozi: unul la partea închisă a tubului, în formă de tijă (E_1) și celălalt la partea deschisă, în formă de tub metalic scurt sau de placă (E_2). Distanța dintre electrozi, în interiorul tubului, formează intervalul de descărcare. Descărcătorul se fixează pe stîlp prin intermediul plăcii P, astfel încît electrodul E_2 să fie la o oarecare distanță de conductorul liniei. Electrodul E_1 se leagă la pămînt.

Cînd apare o supratensiune se produce un arc electric între electrozi. Din cauza temperaturii înalte, fibra sau sticla organică degajă o mare cantitate de gaze, care ridică repede presiunea din tub la o valoare foarte mare; în acest caz, prin capătul deschis al tubului ies gaze care sting arcul. Scurgerea curentului la pămînt și stingerea arcului au loc într-un timp foarte scurt, de cîteva sutimi de secundă.

Funcționarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă se bazează pe două elemente:

— un interval disruptiv (spațiu de aer), care are proprietatea de a reteza unda de supratensiune periculoasă;

folosirea unei rezistențe variabile dependente de tensiune; valoarea acestei rezistențe devine cu atît mai mică, cu cît tensiunea este mai mare.

În cazul unei supratensiuni, curentul de șoc care trece prin eclator după străpungerea intervalului disruptiv, avînd o valoare foarte mare, determină o creștere importantă a tensiunii pe rezistența descărcătorului. Această tensiune ar putea depăși tensiunea de străpungere a eclatorului, ceea ce ar conduce la reducerea acțiunii de protecție a descărcătorului, însă datorită faptului că în acest timp valoarea rezistenței scade, tensiunea la bornele ei se menține aproximativ constantă.

Această proprietate a descărcătoarelor cu rezistență variabilă este foarte importantă, deoarece face ca descărcătorul să acționeze întotdeauna la o valoare apropiată de cea stabilită, indiferent de mărimea curentului de șoc. Rezistențele variabile sînt un amestec de carborund, pămînt refractar și grafit și poartă diferite numiri : vilit, tirit etc.

În figura 23—5 este reprezentat un astfel de descărcător pentru 60 kV cu rezistențe de vilit.

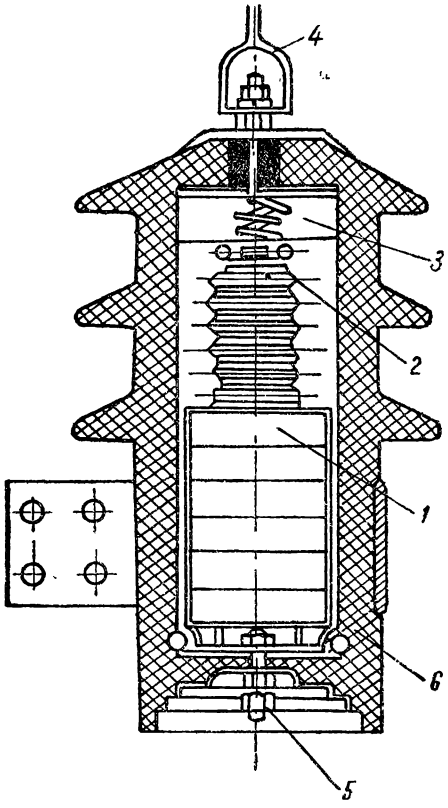


Fig. 23—5. Descărcător cu rezistență variabilă.
1 — discuri de vilit; *2* — intervale de descărcare; *3* — arc de presare; *4* — bornă pentru conductor; *5* — bornă pentru legare la pămînt; *6* — porțelan

Descărcătoarele cu rezistență variabilă sînt cele mai eficace și reprezintă cel mai perfecționat mijloc de protecție contra supratensiunilor și de aceea sînt cele mai folosite în practică. Se montează, în general, la intrarea liniilor aeriene în posturile sau stațiile de transformare. Ele limitează supratensiunile la aproximativ de două ori valoarea tensiunii normale.

Descărcătoarele se fabrică pentru diferite tensiuni de serviciu : 0,5, 1, 6, 15, 35, 110 kV etc.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt descărcătoarele frecvent utilizate ?
2. Care este principiul de funcționare al descărcătoarelor tubulare ?
3. Cum funcționează descărcătoarele cu rezistență variabilă ?

PRIZELE DE PĂMÎNT

Atît conductoarele de protecție, cît și paratrăsnetele și descărcătoarele se leagă la pămînt. De asemenea, se leagă la pămînt stîlpii metalici și armăturile de oțel ale stîlpilor de beton.

Pentru a se realiza o bună legătură cu pămîntul se utilizează prizele de pămînt. Priza de pămînt trebuie să realizeze un bun contact electric cu solul adică să aibă o rezistență de contact mică, care să nu depășească anumite limite. În caz contrar, apar supratensiuni periculoase. De exemplu, dacă o priză de pămînt are rezistența de 20 Ω și are loc o descărcare atmosferică avînd un curent I = 15 kA, trecerea curentului prin rezistență creează o diferență de potențial :

$$U = RI = 20 \cdot 15\,000 = 300\,000 \text{ V}.$$

Aceasta depășește tensiunea de străpungere a izolatoarelor, la o linie de 15 kV, de exemplu, și poate duce la străpungerea izolatorului de la stîlp către conductor, adică se produce o descărcare inversă. Acest fenomen se întîmplă la liniile cu tensiuni pînă la 35 kV, cînd rezistența prizei de pămînt este prea mare.

Pentru a se evita descărcările inverse se recomandă ca rezistența prizelor de pămînt să nu depășească anumite valori.

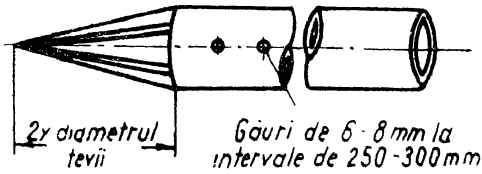
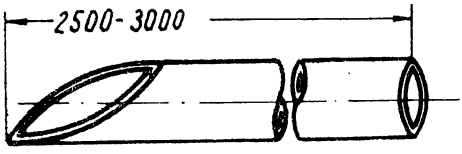


Fig. 23—6. Electrod din țeavă de oțel.



La liniile aeriene, prescripțiile recomandă ca rezistența prizelor de pămînt să fie de cel mult 10 Ω. Rezistența prizelor pentru separatoare și posturi de transformare trebuie să fie de cel mult 4 Ω.

Prizele de pămînt pot fi naturale sau artificiale.

La liniile aeriene se folosesc prize artificiale formate din plăci, țevi sau benzi de oțel.

Se folosesc electrozi din țevi de oțel cu diametrul de 2"—2 $^1/_2$" și cu lungimea de 2,5—3 m (fig. 23—6), introduse vertical în pămînt, astfel încît capătul lor superior să fie la circa 0,5 m sub nivelul solului. La o priză de pămînt sînt necesare 1—4 țevi, în funcție de rezistivitatea solului. În cazul cînd sînt mai multe țevi, acestea sînt legate între ele prin benzi de oțel. Distanța dintre țevi trebuie să fie cel puțin egală cu lungimea țevilor.

Avantajul principal al prizelor de pămînt din țevi constă în aceea că variațiile rezistenței lor sînt relativ mici, deoarece țevile vin în atingere cu straturi ale solului, care fiind la adîncime nu înghează și rămîn umede în decursul întregului an.

O priză cu o singură țeavă poate avea o rezistență de 20—50 Ω.

Uneori în locul țevilor se folosesc bare de oțel cornier sau de oțel U.

În solurile stîncoase, unde introducerea țevilor nu este posibilă, se folosesc benzi de oțel îngropate la o adîncime de 0,5—1 m.

Pentru a rezista la coroziune, benzile trebuie să aibă o grosime de cel puțin 4 mm. De obicei se folosesc benzi de oțel cu lățimea de 20—40 mm și grosimea de 4—5 mm. O priză cu lungimea de circa 20 m poate asigura o rezistență de circa 10 Ω în sol normal.

În trecut se utilizau îndeosebi prize din tablă de oțel galvanizat cu grosimea de 2—3 mm și cu suprafața de circa 1 m^2.

Tabla trebuie așezată vertical, astfel încît partea ei superioară să se afle la o adîncime de cel puțin 0,5 m de la suprafața solului.

O astfel de priză asigură o rezistență de 4—30 Ω.

În toate cazurile arătate mai înainte, legătura dintre conductorul de protecție și priza de pămînt se face cu funie de oțel galvanizat cu secțiunea de 35—70 mm².

Legăturile de la capete se fac cu cleme și buloane zincate, pentru ca să nu ruginească. Contactele trebuie să fie perfecte pentru a nu se mări rezistența de legătură la pămînt.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiții trebuie să îndeplinească priza de pămînt?
2. Din ce se execută prizele de pămînt?
3. Între ce limite este cuprinsă rezistența unei prize de pămînt?

PROTECȚIA PRIN RELEE A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

În timpul exploatării sistemelor electrice, din diverse motive pot apărea regimuri anormale de funcționare, ca : scurtcircuite, suprasarcini și abateri ale tensiunii peste valoarea nominală sau sub valoarea nominală.

Curenții de scurtcircuit duc la distrugerea instalațiilor electrice și, ca urmare, la extinderea avariei asupra altor instalații nedefectate inițial.

Suprasarcinile pot provoca încălzirea excesivă a instalațiilor electrice, aceasta avînd ca urmare degradarea sau distrugerea izolației.

Scăderea tensiunii poate perturba funcționarea normală a consumatorilor. Supratensiunile pot produce străpungerea și deci distrugerea izolației.

Pentru a evita distrugerea instalațiilor electrice și perturbarea funcționării normale a consumatorilor este necesară deconectarea în timpul cel mai scurt posibil a instalației defecte. Deconectarea instalațiilor electrice defecte se face automat, cu ajutorul releelor sau al siguranțelor fuzibile.

Releele sînt aparate speciale care în cazul defectării unei instalații electrice semnalizează acest lucru personalului de exploatare sau comandă auto-

mat dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor, astfel încît acestea deconectează instalația care funcționează anormal. Funcțiunile principale ale protecției prin relee sînt :

— deconectarea instalației electrice protejate, în cazul defectării și al regimurilor anormale de funcționare ;

— semnalizarea apariției regimurilor anormale de funcționare și a comenzilor executate automat.

Condițiile principale care trebuie satisfăcute de protecția prin relee sînt : rapiditatea, siguranța, selectivitatea și sensibilitatea acționării.

Rapiditatea acționării este necesară pentru a reduce pe cît posibil, urmările defectelor apărute.

Siguranța acționării este proprietatea protecției prin relee de a acționa numai în cazul apariției defectelor.

Selectivitatea acționării este necesară pentru a deconecta numai instalația electrică defectă și pentru a menține în funcțiune celelalte instalații.

Sensibilitatea acționării este proprietatea de a acționa chiar în momentul apariției perturbării. În sistemele electrice protecția prin relee se utilizează cu diferite grade de sensibilitate, în funcție de importanța și cerințele instalației electrice protejate.

Protecția prin relee poate fi : de bază, de rezervă sau auxiliară.

Protecția de bază este o protecție care acționează rapid la defecte în sectorul protejat și care asigură funcționarea părților nedefectate.

Protecția de rezervă înlocuiește protecția de bază, în caz de nefuncționare sau de reparație a acesteia.

Protecția auxiliară completează protecția de bază în zonele unde aceasta nu acționează, adică în zonele neprotejate.

În funcție de felul schemei de protecție și de caracteristicile de funcționare, se poate face o clasificare a releelor de protecție după modul de conectare, după modul de acționare asupra instalațiilor protejate și după modul de construcție și funcționare.

După modul de acționare releele pot fi directe sau indirecte ; după modul de conectare releele sînt primare sau secundare, iar după construcție și modul de funcționare releele sînt electromagnetice, cu magnet permanent, electrodinamice, de inducție, termice sau pentru mărimi neelectrice (relee de gaze etc.).

După mărimea pe care o controlează pot fi : relee de curent, relee de putere, relee de timp, relee de minimă tensiune etc.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt funcțiunile principale ale protecției prin relee?
2. Ce condiții trebuie satisfăcute de către instalațiile de protecție prin relee?
3. După ce criterii se pot clasifica releele?

RELEELE PRIMARE

Releele care sînt conectate direct la rețeaua pe care o protejează — legătura făcîndu-se fără intermediul unui transformator de măsură — se numesc relee primare; ele pot fi de două feluri:

- cu acțiune directă
- cu acțiune indirectă.

1. Relee primare cu acțiune directă

În figura 23—7 este prezentată schema constructivă de principiu a unui releu primar, maximal de curent, cu acțiune directă. Bobina *1* a releului este conectată direct în circuitul primar.

Cînd curentul din circuitul primar ajunge la o valoare periculoasă maximală, bobina *1* a releului atrage miezul *2*; acesta fiind articulat cu pîrghia *3*, trage tija *4* în jos.

Deplasîndu-se în jos, tija rotește clichetul de blocare *5*, astfel încît acesta permite declanșarea întrerupătorului acționat de resortul *6*. Declanșarea întrerupătorului se realizează direct de la releu, printr-un sistem mecanic, nemai existînd nici o legătură electrică între releu și întrerupător; modul acesta de acționare se numește *direct*, iar releul se numește *releu cu acțiune directă*.

Din această cauză releul cu acțiune directă nu mai are nevoie de o sursă de curent operativ pentru declanșarea întrerupătorului.

2. Relee primare cu acțiune indirectă

Figura 23—8 cuprinde schema constructivă de principiu a unui releu primar maximal de curent, cu acțiune indirectă.

La un curent maximal la care este reglat releul, bobina *1* a acestuia atrage miezul *2*. Miezul fiind legat de contactul mobil *3* îl deplasează, astfel încît

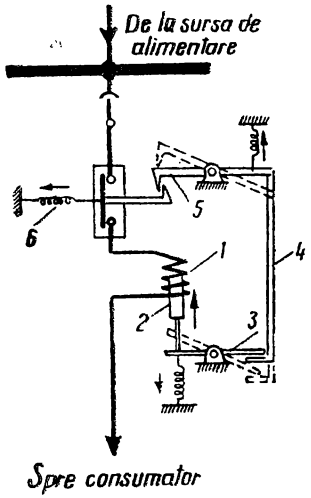


Fig. 23—7. Schema constructivă de principiu a releului primar, maximal de curent, cu acțiune directă.

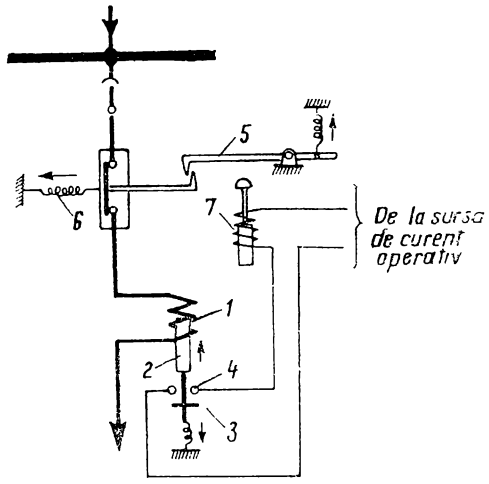


Fig. 23 -8. Schema constructivă de principiu a releului primar, maximal de curent, cu acțiune indirectă.

se închid contactele fixe *4*. Se închide astfel circuitul de curent operativ, deci prin bobina de declanșare *7* circulă un curent. Bobina de declanșare acționează asupra clichetului *5*, declanșînd astfel întrerupătorul acționat de resortul 6.

În acest caz, releul primar nu mai acționează direct asupra întrerupătorului, ci indirect, prin intermediul unei legături electrice. Un astfel de releu se numește *releu cu acțiune indirectă.*

Din această cauză releul cu acțiune indirectă necesită o sursă de curent operativ pentru declanșarea întrerupătorului.

Releele primare sînt de construcție robustă, prin ele trecînd curentul integral al rețelei de protejat. În cazul unui scurtcircuit releele primare sînt din această cauză supuse la eforturi dinamice și termice. Tot din motivele arătate anterior, aceste relee nu sînt suficient de precise și sensibile. Aceste relee se întîlnesc în instalații mai vechi.

Întrebări recapitulative

1. Ce se înțelege prin releu primar cu acțiune directă?
2. Ce se înțelege prin releu primar cu acțiune indirectă?
3. Prin ce se caracterizează releele primare în general?

RELEELE SECUNDARE

Releele care sînt conectate la rețeaua pe care o protejează prin intermediul unui transformator de măsură de curent se numesc releele secundare. La fel ca și releele primare ele pot fi de două feluri :

- cu acțiune directă ;
- cu acțiune indirectă.

1. Releele secundare cu acțiune directă

Figura 23—9 cuprinde schema constructivă de principiu a unui releu secundar, maximal de curent, cu acțiune directă.

Bobina *1* a releului este legată în secundarul unui reductor de curent. Deoarece releul se leagă în circuitul secundar se numește *releu secundar*. Cînd prin bobină circulă curentul maximal aceasta atrage miezul *2*, care cu ajutorul unui percutor *3* deblochează clichetul de blocare *4*, realizîndu-se astfel declanșarea directă a întrerupătorului. În acest caz, dispozitivul se numește *releu secundar cu acțiune directă*.

2. Relee secundare cu acțiune indirectă

În figura 23—10 este prezentată schema constructivă de principiu a unui releu secundar, maximal de curent, cu acțiune indirectă.

Releul *1* este legat în circuitul pe care îl protejează prin intermediul unui reductor de curent, deci este un releu secundar. La trecerea curentului maximal prin bobina releului, acesta își închide contactul, închizînd astfel circuitul bobinei de declanșare *2*, alimentată de la o sursă de curent operativ (bateria de acumulatoare).

Bobina de declanșare produce declanșarea întrerupătorului cu ajutorul clichetului de blocare, pe care îl împinge în sus. Contactele *3* și *4* din această schemă au rolul de a evita ca bobina de declanșare să funcționeze cînd întrerupătorul este deschis. Releul din figura 23—10 este un *releu secundar cu acțiune indirectă*.

Releele secundare cu acțiune directă se folosesc numai în instalațiile de putere mică și se integrează de multe ori în dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor.

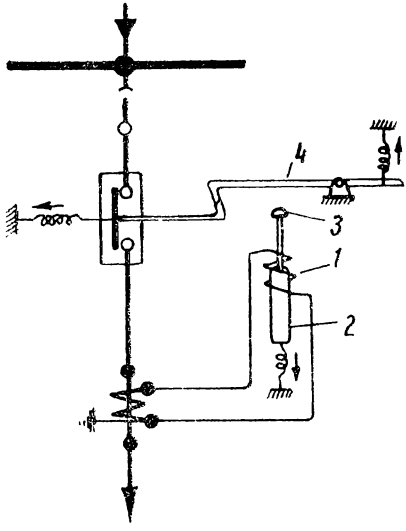


Fig. 23—9. Schema constructivă de principiu a releului secundar, maximal de curent, cu acțiune directă.

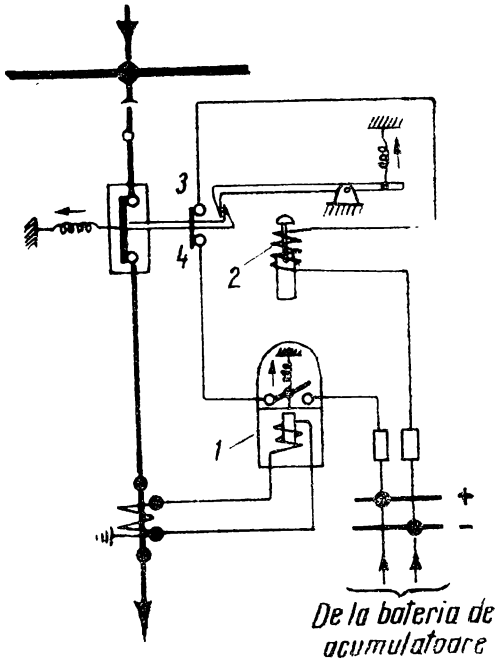


Fig. 23—10. Schema constructivă de principiu a releului secundar, maximal de curent, cu acțiune indirectă.

Releele secundare cu acțiune indirectă au o sensibilitate și o precizie mare și dimensiuni mici.

Deoarece releele secundare sînt conectate la rețeaua de protejat prin intermediul unui transformator de măsură de curent, prin ele nu trece în caz de scurtcircuit în rețea un curent prea mare ; nefiind deci supuse nici eforturilor dinamice și termice, releele secundare se construiesc de dimensiuni mai mici decît releele primare.

Întrebări recapitulative

1. Cum se alimentează un releu secundar ?
2. Care este principiul de construcție și funcționare al releelor secundare directe ?
3. Prin ce se deosebește un releu secundar cu acțiune indirectă de unul cu acțiune directă ?

RELEE DE TENSIUNE MINIMĂ

La unele instalații sau receptoare electrice regimul de funcționare impune ca valoarea tensiunii să nu scadă sub anumite limite. La motoarele electrice, de exemplu, această valoare limită este cuprinsă între 50 și 80% din tensiunea nominală.

Scăderea sub această tensiune minimă periclitează buna funcționare sau uzurează prematur agregatul respectiv. Protecția împotriva regimurilor anormale cînd tensiunea ar scade sub limita admisibilă se face cu ajutorul releelor de tensiune minimă.

În figura 23—11 este reprezentată schema protecției de tensiune minimă. În cazul funcționării normale, cînd tensiunea rețelei care alimentează agregatul de protejat, se menține la o valoare superioară limitei minime, căderea de tensiune din secundarul transformatorului de măsură de tensiune *3* va genera un curent suficient de mare pentru ca bobina releului *1* să poată menține contactul astfel încît el să rămînă deschis.

Cînd tensiunea rețelei scade sub valoarea minimă admisibilă, atunci tensiunea de la bornele secundare ale transformatorului de măsură de tensiune *3* scade și ea. Curentul din circuitul secundar al transformatorului de tensiune se va micșora astfel încît bobina releului *1* să nu mai poată menține contactul deschis. Contactul releului închizîndu-se va determina închiderea în același timp a circuitului de curent continuu.

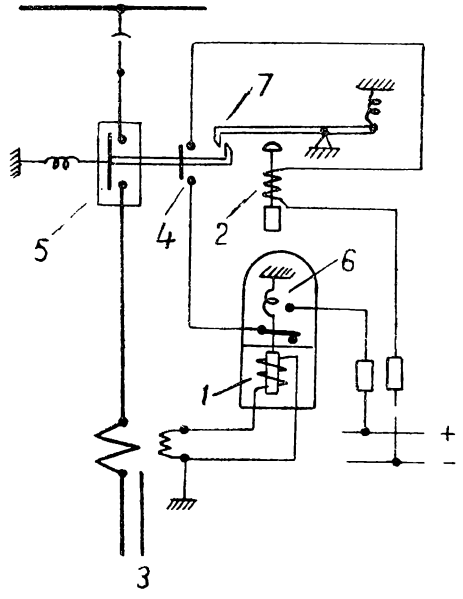


Fig. 23—11. Schema protecției de tensiune minimă.

Bobina de declanșare *2* care se află în acest circuit, fiind parcursă de curent, va atrage armătura care la rîndul ei va acționa printr-o pîrghie asupra clichetului *7* care face posibilă declanșarea întrerupătorului *5* al rețelei primare. Contactele *4* au ca scop să întrerupă circuitul bobinei de declanșare *2*, altfel prin acest circuit datorită contactelor releului *1* care se mențin închise după ce a fost întrerupt circuitul primar — ar circula un curent pînă cînd rețeaua ar reveni la funcționarea normală; acest curent ar dăuna bobinei de declanșare *2*.

În momentul cînd întrerupătorul *5* se închide, și tensiunea rețelei este superioară limitei minime admisibile, releul *1* își va deschide din nou contactul său. Contactele *4* în această situație sînt închise astfel încît circuitul bobinei de declanșare este apt pentru o eventuală nouă declanșare.

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt relee de tensiune minimă?
2. Ce influență are asupra receptorului de energie electrică, funcționarea lui la o tensiune mai mică decît limita minimă admisibilă?
3. Ce se întîmplă în cazul cînd se comandă închiderea întrerupătorului, iar tensiunea rețelei nu a revenit la valoarea inițială?

RELEELE ELECTROMAGNETICE

Principiul de funcționare al releelor electromagnetice se bazează pe forța de atracție pe care o dezvoltă cîmpul magnetic al unei bobine parcursă de curent asupra unei armături de material magnetic moale.

Din punct de vedere constructiv se deosebesc trei tipuri de relee electromagnetice: cu armătură basculantă, cu armătură rotativă și cu armătură glisantă.

- *Releu cu armătură basculantă* (fig. 23—12). Cînd curentul *I*, care parcurge bobina *4*, atinge valoarea maximă, armătura basculantă *1* este atrasă. Pentru ca armătura basculantă să poată reveni în poziția inițială în momentul cînd curentul s-a micșorat la valoarea normală, aceasta este prevăzută cu resortul *2*. De asemenea, pentru a evita lipirea armăturii basculante de miezul fix al bobinei, în capătul armăturii se află un distanțor *3*, dintr-un material nemagnetic. Aceste relee, avînd consum propriu mare, sînt folosite numai acolo unde se cer forțe de contact mari.

— *Releu cu armătură rotativă* (fig. 23—13). Cînd curentul *I* din bobina *3* ajunge valoarea maximală astfel încît cuplul produs de forța de atracție magnetică a miezului fix este mai mare decît cuplul rezistent dat de resortul *2*,

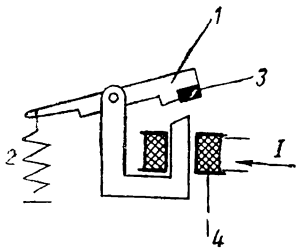


Fig. 23—12. Releu electromagnetic cu armătură basculantă.

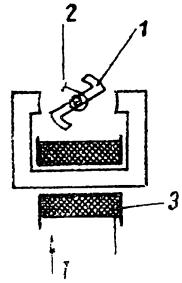


Fig. 23—13. Releu electromagnetic cu armătură rotativă.

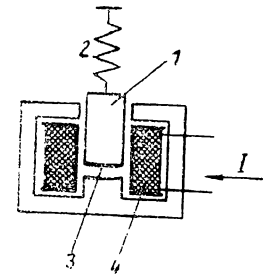


Fig. 23—14. Releu electromagnetic cu armătură glisantă.

armătura rotativă *1* se rotește și închide contactele releului. Avînd consum propriu mic, acest releu este foarte mult utilizat în instalațiile electrice.

— *Releu cu armătură glisantă* (fig. 23—14). Cînd forța de atracție a bobinei *4* depășește forța resortului *2*, armătura *1* glisează în interiorul bobinei. În acest caz este de asemenea necesară o piesă de distanțare, nemagnetică, *3*. Releele de acest tip sînt folosite mai rar, din cauza consumului propriu mare.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică releele electromagnetice din punct de vedere constructiv?
2. Care din tipurile constructive studiate sînt cele mai des folosite?

RELEE CU MAGNET PERMANENT

Releele cu magnet permanent folosesc forța de atracție dintre o bobină parcursă de curent și un magnet permanent.

Din punct de vedere constructiv se deosebesc trei tipuri de relee cu magnet permanent: cu bobină rotativă, cu bobină glisantă și cu magnet permanent rotativ.

— *Releu cu bobină rotativă* (fig. 23—15). Cînd curentul *I* care trece prin bobina rotativă depășește valoarea limită, aceasta se rotește fiind atrasă de magnetul permanent *1*. Resortul *2* asigură revenirea bobinei în poziția inițială.

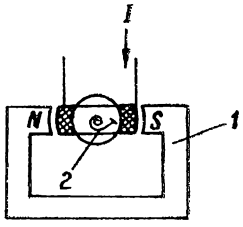


Fig. 23—15. Releu cu magnet permanent cu bobină rotativă

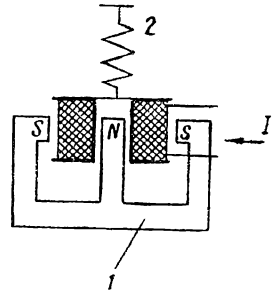


Fig. 23—16. Releu cu magnet permanent, cu bobină glisantă.

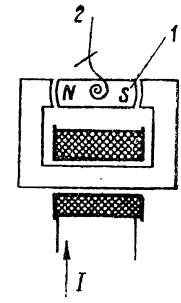


Fig. 23—17. Releu cu magnet permanent rotativ.

— *Releu cu bobină glisantă* (fig. 23—16). Bobina se deplasează fiind acționată de curentul *I*, de magnetul permanent *1* și de resortul *2*. Prin deplasarea bobinei se închid sau se deschid contactele releului.

Releele cu bobină mobilă sînt foarte sensibile (se defectează ușor), deoarece curentul ajunge la bobine prin sîrme flexibele.

— *Relee cu magnet permanent rotativ* (fig. 23—17). Magnetul permanent *1* se rotește în întrefierul unei armături, deci nu mai sînt necesare sîrme flexibile pentru alimentarea cu curent a părții mobile, bobina fiind fixă. Rezultă că aceste relee sînt mai robuste, însă nu au sensibilitatea prea mare din cauza inerției mari a magnetului permanent. Cuplul rezistent este dat de resortul *2*.

La releele cu magnet permanent există o dependență între sensul mișcării părții mobile și sensul curentului. Astfel de relee se numesc relee polarizate.

Întrebări recapitulative

1. Care este principiul de funcționare al releului cu magnet permanent?
2. Cum se clasifică releele cu magnet permanent din punct de vedere constructiv?

RELEELE ELECTRODINAMICE

Principiul de funcționare al relelor electrodinamice constă din interacțiunea a două sau a mai multor bobine parcurse de curenți. Una din bobine este mobilă (se rotește în jurul unui ax), iar cealaltă sau celelalte sînt fixe.

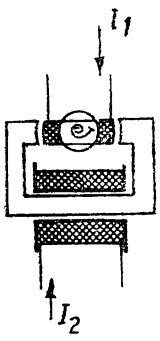


Fig. 23—18. Releu electrodinamic acționat de produsul curenților.

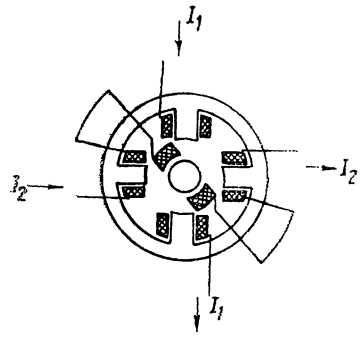


Fig. 23—19. Releu electrodinamic acționat de raportul curenților.

Se deosebesc două tipuri de relee electrodinamice: relee care au ca mărime de acționare produsul unor curenți și relee care au ca mărime de acționare raportul unor curenți.

Releul electrodinamic care are ca mărime de acționare produsul curenților, este prezentat în figura 23—18. Prin bobina mobilă circulă curentul I_1 iar prin bobina fixă circulă curentul I_2. Curentul I_1 este luat de la secundarul unui reductor de tensiune și are deci o mărime proporțională cu tensiunea instalației electrice pe care o protejează. Curentul I_2 este luat de la secundarul unui reductor de curent și are o mărime proporțională cu curentul instalației pe care o protejează. Cum acest releu acționează la o mărime care este produsul curenților I_1 și I_2, iar aceștia sînt proporționali cu tensiunea și cu curentul instalației electrice, deci cu puterea electrică, se numește *releu de putere* și este folosit la realizarea protecției direcționale.

Releul electrodinamic care are ca mărime de acționare raportul curenților (fig. 23—19) se compune din patru bobine fixe dispuse pe un stator și o bobină care se rotește în jurul unui ax. Curentul I_2 provenit de la secundarul unui reductor de tensiune, avînd deci o mărime proporțională cu tensiunea instalației electrice de protejat, trece prin trei bobine, și anume prin două bobine fixe, plasate pe axa geometrică orizontală a statorului și printr-o bobină mobilă. Curentul I_1 provenit de la un reductor de curent, avînd o mărime proporțională cu curentul instalației electrice de protejat, trece prin cele două bobine fixe plasate pe axa geometrică verticală a statorului. Releul acționează la o anumită valoare a raportului curenților I_1 și I_2, adică la o valoare proporțională cu raportul dintre tensiunea și curentul instalației de protejat.

Releul acționează deci în funcție de o mărime proporțională cu impedanța instalației de protejat și se folosește la realizarea protecției de distanță.

Întrebări recapitulative

1. Cum funcționează un releu electrodinamic la care mărimea de acționare este constituită din rezultatul produsului dintre curenți?
2. Dar un releu electrodinamic la care mărimea de acționare este raportul celor doi curenți?

RELEE DE INDUCȚIE, TERMICE ȘI CU MĂRIMI DE ACȚIONARE NEELECTRICE

1. Relee de inducție

Constructiv, releul de inducție este format din două sau mai multe bobine fixe și un rotor metalic. Rotorul poate fi un disc, un tambur sau o ramă. Bobinele fixe fiind parcurse de curenți, induc în rotorul metalic curenți turbionari. Cîmpul magnetic al acestor curenți interacționează cu cîmpul magnetic al bobinelor fixe, producînd rotirea rotorului. Ca și releele electrodinamice, releele de inducție pot fi acționate de produsul sau de raportul unor curenți.

Releul de inducție care are ca mărime de acționare produsul curenților (fig. 23—20) este format din patru bobine fixe și un rotor metalic în formă de tambur. Produsul dintre curenții I_1 și I_2 este proporțional cu produsul dintre tensiune și curent, deci cu puterea instalației electrice de protejat. Releul se folosește la realizarea protecției direcționale.

Releul de inducție care are ca mărime de acționare raportul curenților (fig. 23—21) este format din trei bobine fixe, situate una deasupra rotorului prin care trece curentul I_1 și două sub rotor și parcurse de curentul I_2. Rotorul este format dintr-un disc care se rotește în jurul axului vertical. Ca și la releele electrodinamice de acest fel, raportul dintre curenții I_1 și I_2 este proporțional cu raportul dintre tensiunea și curentul instalației protejate, deci cu impedanța circuitului. Releul se folosește la protecția de distanță.

Releele de inducție au o largă aplicabilitate în protecția instalațiilor electrice, datorită posibilității lor de a se adapta la cele mai pretențioase caracteristici, atît din punct de vedere al performanțelor obținute, cît și din acela al tipului de protecție. În instalațiile electrice releele de inducție se utilizează ca : relee de curent, relee de putere, relee de distanță, relee diferențiale, relee de frecvență.

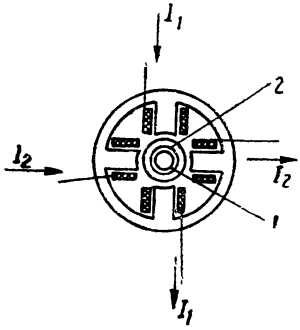


Fig. 23—20. Releu de inducție acționat de produsul curenților.

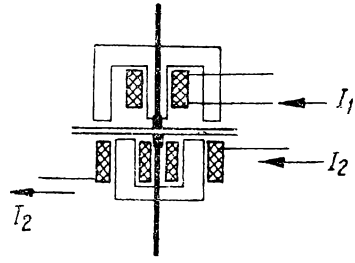


Fig. 23—21. Releu de inducție acționat de raportul curenților.

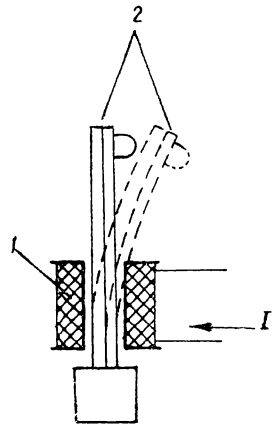


Fig. 23—22. Releu termic bimetalic.

2. Relee termice

Funcționarea releelor termice se bazează pe proprietatea conductoarelor electrice de a se încălzi la trecerea curentului electric. Căldura astfel produsă încălzește una sau două lamele metalice, care dilatîndu-se închid sau deschid contacte electrice. Cel mai frecvent se utilizează releele termice bimetalice, formate din două lamele de metale diferite, lipite una de alta (fig. 23—22) : complexul bimetalic *2* se deformează (linia punctată) și închide sau deschide un contact electric. Lamelele sînt încălzite cu ajutorul bobinei *1*, parcursă de curentul din circuitul de protejat.

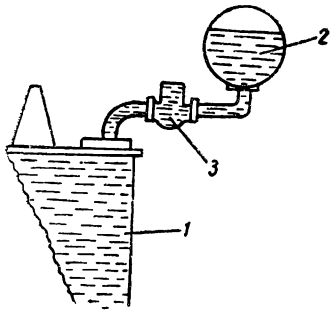
Dacă prin bobină trece curentul nominal lamelele nu se deformează.

Releele termice bimetalice sînt utilizate la realizarea protecției împotriva suprasarcinilor motoarelor electrice, transformatoarelor și cablurilor.

3. Relee cu mărimi de acționare neelectrice

Spre deosebire de releele studiate mai înainte aceste relee folosesc ca mărimi de acționare mărimi mecanice, deci mărimi neelectrice. Pentru protecția transformatoarelor împotriva scurtcircuitelor interioare se utili-

Fig. 23—23. Amplasarea releului de gaze.



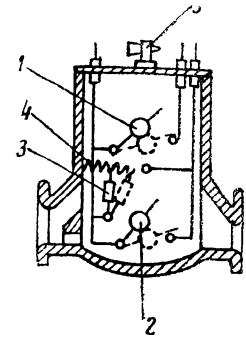


Fig. 23—24. Construcția releului de gaze.

zează *releul de gaze 3* (fig. 23—23), montat între cuva transformatorului *1* și conservatorul *2*. În interior (fig. 23—24), releul de gaze are două flotoare *1* și *2*, iar în dreptul conductei dinspre cuva transformatorului o clapetă *3* acționată de resortul *4*. Contactele releului sînt cu mercur. Prin înclinarea flotoarelor sau a clapetei, mercurul se deplasează și închide contactele respective. Flotorul *1* este legat la circuitul de semnalizare, iar flotorul *2* și clapeta sînt legate la circuitul de comandă al declanșării întrerupătoarelor.

Cînd nivelul uleiului din releu scade, flotorul *1* se înclină (desenul punctat) și închide circuitul de semnalizare, indicînd o eventuală scurgere a uleiului din transformator sau acumularea de gaze în releu. Dacă se produce un scurtcircuit puternic în interiorul transformatorului, uleiul din jurul bobinajelor acestuia se încălzește astfel încît se produc gaze care împing uleiul din cuvă spre conservator și înclină clapeta *3* și flotorul *2*, comandînd astfel deconectarea transformatorului. Pentru evacuarea gazelor, releul este prevăzut cu un robinet *5*. Transformatoarele de puteri mai mici pot avea numai clapeta și un flotor sau numai clapeta. Transformatoarele de puteri sub 100 kVA nu au protecție cu relee de gaze.

Întrebări recapitulative

1. Din ce se compune un releu de inducție?
2. Ce principiu stă la baza funcționării releelor termice?
3. Cum funcționează releul cu gaze și unde se folosește el?

PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT

Instalațiile de protecție prin relee acționează la variația diferiților parametri ai circuitului protejat. Astfel se deosebesc : protecție maximală de curent, protecție direcțională (de putere), protecție de distanță, protecție de tensiune etc.

În continuare vor fi studiate cele mai importante și mai utilizate tipuri de protecție din rețelele și stațiile electrice.

Protecția maximală de curent acționează în cazurile cînd curentul din instalația electrică depășește o anumită valoare, stabilită dinainte prin reglaj.

Figura 23—25 cuprinde o rețea electrică în care sînt reprezentate centrala electrică C și stațiile electrice S_1, S_2, S_3. În această rețea sînt opt întrerupătoare principale *1—8*. Dacă pentru protejarea rețelei se utilizează numai relee maximale de curent fără temporizare, adică relee care acționează asupra întrerupătorului, respectiv în clipa cînd curentul a atins valoarea la care este reglat releul, selectivitatea se obține prin alegerea unor curenți de reglaj în trepte.

De exemplu, pentru rețeaua din figura 23—25 se aleg :

— pentru întrerupătorul *1*, $I_r = 200$ A :
— pentru întrerupătorul *4*, $I_r = 150$ A ;
— pentru întrerupătorul *6*, $I_r = 100$ A.

Astfel se poate realiza numai cu ajutorul releelor maximale de curent o protecție selectivă. Dacă prin rețea circulă la suprasarcină un curent care a depășit valoarea de 100 A (ex. 120 A), releul comandă declanșarea întrerupătorului *6*. Astfel s-a realizat o protecție selectivă, adică restul rețelei electrice nu este perturbată de curentul de suprasarcină. Releele întrerupătoarelor *1* și *4* fiind reglate să acționeze la curenți mai mari de 120 A.

Protecția nu mai este selectivă cînd apare un scurtcircuit, de exemplu în punctul *k* ; curentul de scurtcircuit depășește valoarea de 200 A și acționează : releul întrerupătorului *1*, releul întrerupătorului *4* și releul întreru-

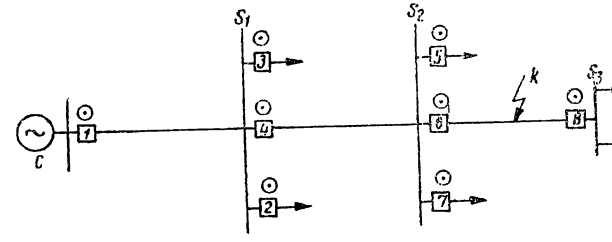


Fig. 23—25. Schema unei rețele radiale pentru protecția maximală de curent.

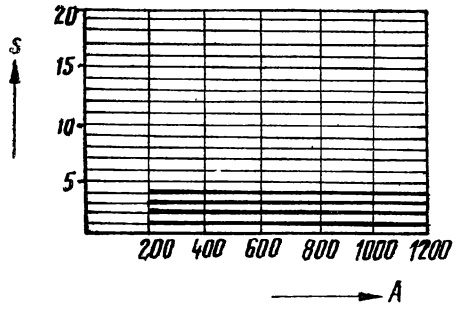


Fig. 23—26. Graficul reglajelor de timp ale protecției maximale cu caracteristică independentă, pentru rețeaua din figura 23—25.

pătorului *6*. Deci, în acest caz, fără să fie necesar, a fost deconectată toată instalația. Ar fi fost suficient să deconecteze numai întrerupătorul *6*, restul rețelei putînd să funcționeze mai departe normal.

În concluzie, în cazul unui scurtcircuit în punctul *k*, instalația de protecție cu ajutorul releelor maximale de curent netemporizate, cu reglaj de curent în trepte, nu este selectivă.

Pentru realizarea selectivității este necesar ca releele să nu acționeze toate în același timp, ci fiecare după intervale diferite de timp. De exemplu, în instalația din figura 23—25 se reglează protecția în funcție de timp, în felul următor :

— releul întrerupătorului *1* să acționeze cînd curentul depășește 200 A, însă numai după 4 s ;

— releul întrerupătorului *4* să acționeze cînd curentul depășește 200 A, însă numai după 3 s ;

— releul întrerupătorului *6* să acționeze cînd curentul depășește 200 A, însă numai după 2 s ;

— releul întrerupătorului *8* să acționeze cînd curentul depășește 200 A, însă după 1 s.

Pentru orice valoare a curentului mai mare de 200 A releele *1*, *4*, *6* și *8* vor acționa după timpul stabilit pentru fiecare. Releele cu un astfel de reglaj se numesc *relee maximale de curent cu temporizare independentă*. Grafic, protecția astfel realizată este dată în figura 23—26. În cazul unui scurtcircuit în punctul *k*, prin releele *1*,*4* și *6* trece un curent de scurtcircuit. Presupunînd că acest curent este de 500 A, releele *1*, *4* și *6* se excită toate însă după 2 s numai releul *6* acționează comandînd declanșarea întrerupătorului respectiv. Releele *1* și *4* fiind reglate să acționeze după *4* și respectiv *3* s nu mai au timp să acționeze asupra întrerupătoarelor respective, deoarece circuitul defect a fost întrerupt de către releul *6*. În concluzie, s-a realizat selectivitatea protecției cu ajutorul temporizării independente.

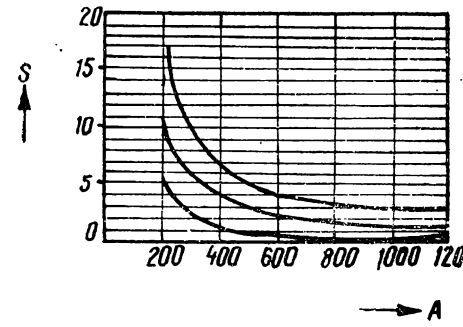


Fig. 23—27. Graficul reglajelor de timp ale protecției maximale cu caracteristică dependentă, pentru rețeaua din figura 23—25.

În general, reglajul în trepte de curent se utilizează în cazul suprasarcinilor, iar reglajul în trepte de timp în cazul scurtcircuitelor.

Soluția cu relee maximale de curent cu temporizare independentă are și dezavantaje. De exemplu, la un scurtcircuit după întrerupătorul *1*, acest întrerupător declanșează numai după 4 s. În acest timp curentul de scurtcircuit poate provoca deteriorări grave asupra instalațiilor electrice din centrala *C* (fig. 23—25). De asemenea, cînd apar după întrerupătorul *8* suprasarcini trecătoare mai mari de 200 A, deoarece în acest caz releul *8* acționează asupra întrerupătorului *8* după o secundă, toți consumatorii stației S_3 vor fi deconectați.

În concluzie, la protecția de acest tip trebuie să se asigure :

— timp lung de acționare la suprasarcini mici ;

— timp scurt de acționare la valori mari ale curenților (curenți de scurtcircuit).

Această cerință este satisfăcută într-o oarecare măsură de protecția maximală de curent cu temporizare dependentă.

Graficul acționării a trei relee maximale de curent cu temporizare dependentă este reprezentat în figura 23—27. Din acest grafic rezultă că la o suprasarcină de 300 A releele acționează astfel : releul *1* după 10 s ; releul *2* după 6 s ; releul *3* după 2s.

— La o suprasarcină de 400 A releele acționează astfel : releul *1* după 7 s ; releul *2* după 4 s ; releul *3* după 1,2 s.

— În cazul unui scurtcircuit care absoarbe curentul de scurtcircuit de 1000 A releele acționează astfel : releul *1* după 3 s ; releul *2* după 1,5 s ; releul *3* după 0,5 s.

Astfel se asigură selectivitatea și în caz de suprasarcină și în caz de scurtcircuit. În caz de scurtcircuit în apropierea centralei, cînd rezultă curenți mari de scurtcircuit, se scurtează și timpul de acționare a protecției respec-

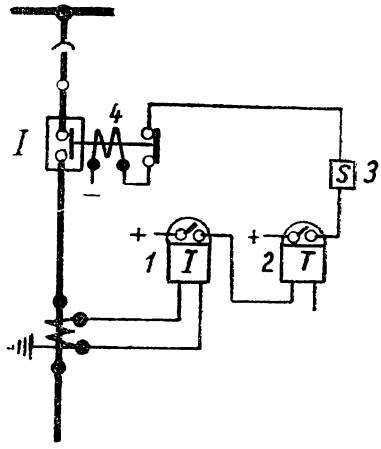


Fig. 23—28. Schema de principiu a protecției maximale de curent cu temporizare independentă.

tive. La suprasarcini mici, trecătoare, nu sînt perturbați consumatorii, deși se mărește timpul de acționare a protecției.

Modul de acționare a protecției maximale de curent, de exemplu cu temporizare independentă, se poate urmări în schema de principiu din figura 23—28. Protecția are următoarele organe principale :

— organ de pornire (releu *1* de intensitate), care pune protecția în acțiune în momentul cînd curentul a depășit limita pentru care este reglat ;

— organ de temporizare (releu *2*), care face ca protecția să acționeze după un anumit timp la care este reglat ;

— organ de semnalizare (releul *3*), care semnalizează personalului de exploatare acționarea protecției.

Funcționarea protecției este următoarea : cînd curentul depășește limita pentru care este reglat releul *1*, acesta își închide contactul normal deschis. Prin închiderea contactului releului *1*, releul *2* (de timp) își închide și el contactul, însă închide numai în momentul cînd a trecut perioada de timp pentru care este reglat. Prin închiderea contactului releului *2* se închide circuitul bobinei de acționare *4* a întrerupătorului, care declanșează întrerupătorul *I*. Totodată primește curent și releul *3* de semnalizare, care semnalizează personalului de exploatare că protecția a acționat.

Întrebări recapitulative

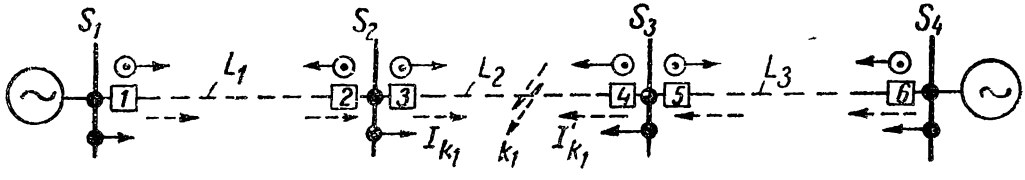
1. Care sînt tipurile de protecție cele mai utilizate ?
2. Ce rol are protecția maximală de curent ?
3. Prin ce se caracterizează un releu maximal cu temporizare independentă ?

PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT DIRECȚIONALĂ

Protecția maximală de curent direcțională se folosește pentru protejarea rețelelor buclate cu o singură sursă de alimentare și a rețelelor cu mai multe surse de alimentare. Protecția maximală de curent direcțională protejează rețelele electrice împotriva scurtcircuitelor monofazate și polifazate. În rețelele menționate mai înainte, curenții de scurtcircuit vin spre locul de scurtcircuit din două părți. În acest caz nu mai este suficientă protecția maximală de curent temporizată, fiindcă rețeaua electrică defectă trebuie deconectată de la ambele capete. Pentru realizarea unei astfel de deconectări sînt necesare relee care să acționeze la schimbarea sensului de circulație a energiei electrice. În figura 23—29 este reprezentată schema de principiu a unei rețele cu două surse de alimentare, indicîndu-se locurile de instalare a protecției maximale de curent direcționale. Protecția maximală de curent direcțională este reprezentată printr-un cerc cu un punct și o săgeată, care indică sensul de circulație la care protecția acționează. În cazul unui scurtcircuit în punctul k_1, pe linia L_2, spre locul defectului, circulă dintr-un sens curentul de scurtcircuit I_{k_1}, iar din celălalt sens curentul de scurtcircuit I'_{k1}. Curentul de scurtcircuit I_{k_1} excită releele direcționale *1* și *3*, iar curentul de scurtcircuit I'_{k_1} excită releele direcționale *4* și *6*; acționează însă numai releele direcționale *3* și *4*, avînd o temporizare mai mică decît a releelor *1* și *6*, deoarece temporizarea este mare în apropiere de sursă și mică mai departe de aceasta. Astfel, protecția de curent direcțională deconectează selectiv linia L_2, liniile L_1 și L_3 funcționînd mai departe.

În figura 23—30 este reprezentată schema de principiu a protecției maximale de curent direcțională pentru o fază a unei rețele electrice. Elementele principale ale acestei protecții sînt: elementul de pornire (releul *1*), care își închide contactele numai în cazul cînd curentul din rețea depășește

Fig. 23—29. Schema unei rețele cu alimentare de la ambele capete, cu indicarea protecției direcționale.



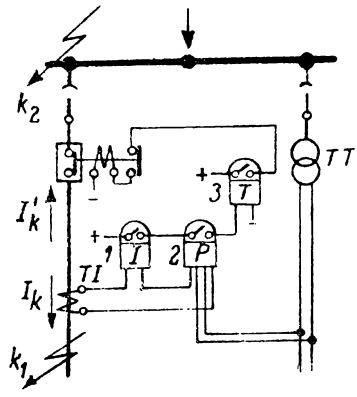


Fig. 23—30. Schema de principiu a protecției maximale de curent direcționale, pentru o fază a liniei.

limita periculoasă, elementul direcțional de putere *2*, care își închide contactele cînd sensul de circulație a puterii este de la barele stației spre rețea, și elementul de temporizare *3*, care realizează selectivitatea protecției.

Pentru ca protecția să acționeze este necesar ca toate cele trei elemente să aibă contactele închise. De exemplu, în figura 23—30 sînt prevăzute două cazuri de scurtcircuite, în punctul k_1 și în punctul k_2.

Protecția maximală de curent direcțională protejează rețeaua electrică, însă nu și barele stației. În cazul scurtcircuitului, în punctul k_2 circulă curentul de scurtcircuit I'_k. Sensul acestui curent și deci sensul puterii este invers decît al celui reglat pentru acționarea elementului direcțional *2*. Acesta nu își închide contactele, cu toate că elementul *1*, din cauza valorii mari a curentului I'_k, își închide contactele, deci protecția, așa cum era de așteptat, nu funcționează. Protecția funcționează numai în cazul scurtcircuitelor produse pe linie dincolo de reductorul de curent, de exemplu în punctul k_1. Curentul de scurtcircuit I_k fiind mare, elementul de pornire *1* își închide contactele. Sensul de circulație a puterii corespunzînd reglajului elementului direcțional de putere *2*, acesta își închide contactele. După trecerea temporizării respective își închide contactele și elementul de temporizare *3*. În acest moment, protecția comandă declanșarea întrerupătorului. Releul direcțional este alimentat de la un reductor de curent *TI* și de la un reductor de tensiune *TT*. Releul direcțional de putere poate fi electromagnetic sau de inducție.

Întrebări recapitulative

1. În ce constă protecția maximală de curent direcțională și unde se folosește ea?
2. Ce fel de relee pot îndeplini funcția de relee direcționale?

PROTECȚIA DE DISTANȚĂ

Protecția a cărei temporizare depinde de distanța de la locul de scurtcircuit pînă la stația unde este montată instalația de protecție se numește *protecția de distanță*. Cu cît această distanță este mai mare, cu atît timpul de acționare a protecției este mai mare și invers. Aceasta se explică prin faptul că mărimea de acționare a protecției de distanță este raportul dintre tensiune și curent, adică impedanța care, după cum se știe, este proporțională cu lungimea circuitului.

Protecția de distanță se pretează la orice fel de rețele, atît la cele complicate, cît și la cele simple. Față de protecția maximală de curent (direcțională sau nedirecțională), protecția de distanță prezintă avantajul că acționează mai rapid și este mai sensibilă. Protecția de distanță este mai complicată și mai scumpă, de aceea se folosește în locul protecției maximale de curent numai acolo unde aceasta nu poate asigura condițiile de selectivitate și sensibilitate.

Pentru a se înțelege mai bine principiul de funcționare a protecției de distanță, în figura 23—31 se reprezintă o schemă de principiu a unei rețele radiale prevăzută cu protecție de distanță. În figură se poate urmări și diagrama tensiunilor trasată pentru cazul unui scurtcircuit în punctul k_1. Linia L_1 este protejată de releul de distanță *1*, iar linia L_2 de releul *2*. Pentru asigurarea selectivității trebuie să acționeze releul *2* asupra întrerupătorului respectiv, urmînd ca linia L_1 să funcționeze normal. Avînd în vedere că mărimea de acționare a acestei protecții este raportul dintre tensiune și curent, iar curentul de scurtcircuit este pentru ambele protecții același I_{sc}, din diagrama tensiunilor rezultă că U_2 este mai mic decît U_1, deci raportul dintre tensiune și curent, pentru releu *2*, este mai mic decît pentru releul *1*. Rezultă că releul *2* acționează mai repede decît releul *1* și deconectează numai linia cu defect.

La protecția de distanță se utilizează mai multe feluri de relee : relee de pornire, relee intermediare, relee direcționale, relee de impedanță și relee de timp.

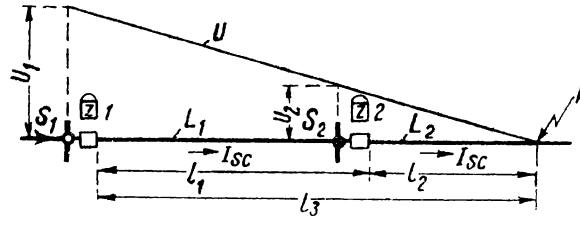


Fig. 23—31. Schema de principiu a unei rețele radiale prevăzută cu protecție de distanță și diagrama tensiunii în cazul unui scurtcircuit în punctul k_1.

Întrebări recapitulative

1. Ce se înțelege prin protecție de distanță?
2. Ce avantaje și dezavantaje prezintă protecția de distanță față de protecția maximală de curent?
3. Ce fel de relee se folosesc pentru a realiza protecția de distanță?

PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT CONTRA PUNERILOR LA PĂMÎNT

Mărimea curenților de puneri la pămînt depinde de felul cum este legat la pămînt neutrul generatorului care alimentează instalația respectivă. În cazul cînd generatorul are neutru direct pus la pămînt va rezulta un curent mare de punere la pămînt, iar în cazul cînd generatorul are neutrul tratat, adică pus la pămînt prin intermediul unor impedanțe va lua naștere un curent mic de punere la pămînt.

În funcție de mărimea acestor curenți se pot deosebi:

— protecții ale rețelelor care au curenți mari de punere la pămînt;

— protecții ale rețelelor care au curenți mici de punere la pămînt.

Un exemplu de schemă de protecție maximală de curent a rețelelor care au curenți mari de punere la pămînt este dat în figura 23—32. Grupul de trei transformatoare de măsură de curent monofazate sînt legate prin intermediul bornelor L_1 și L_2 la cele trei faze ale circuitului primar și prin intermediul bornelor D_1 și D_2 la circuitul secundar. Temporizarea protecțiilor maximale de curent împotriva punerilor la pămînt se alege după principiul în trepte. În cazul schemei de față aceasta se realizează cu ajutorul releului de timp T. Protecția mai conține releul maximal de curent I, releul de semnalizare S și bobina de declanșare a întrerupătorului.

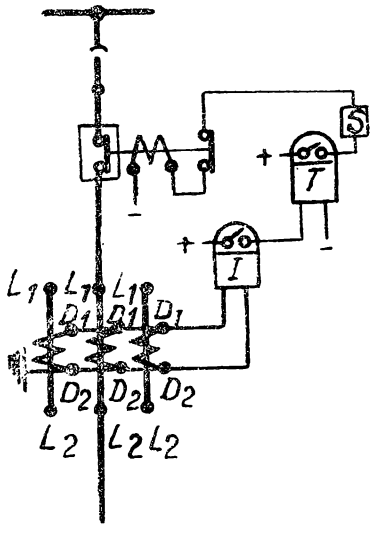


Fig. 23—32. Schema protecției maximale de curent contra punerilor la pămînt cu trei transformatoare de curent.

Dezavantajul schemei din figura 23—32 este că cele trei transformatoare de măsură de curent sînt folosite separat numai pentru această protecție. De aceea se folosesc mai des scheme în care transformatoarele de măsură de curent sînt folosite atît pentru protecția împotriva scurtcircuitelor între faze, cît și pentru protecția împotriva punerilor la pămînt.

În cazul rețelelor care au curenți mici de punere la pămînt a unei faze sau în locul protecției se prevăd dispozitive speciale care controlează starea izolației față de pămînt a rețelei și care semnalizează punerea la pămînt a unei faze.

Întrebări recapitulative

1. Cum se clasifică sistemele de protecție în funcție de mărimea curenților de punere la pămînt?
2. Ce dezavantaj prezintă schema folosită pentru protecția curenților mari de punere la pămînt?
3. Care sînt variantele sub care se realizează protecția împotriva punerilor la pămînt în cazul unor curenți mici de punere la pămînt?

PROTECȚIA DE CURENT MAXIMALĂ TEMPORIZATĂ A TRANSFORMATOARELOR

În general protecția de curent maximală temporizată a transformatoarelor se compune din protecția contra scurtcircuitelor și din protecția contra suprasarcinilor. Cînd transformatorul se află sub supravegherea permanentă a personalului de exploatare și apariția suprasarcinilor este puțin probabilă, protecția de curent maximală temporizată nu mai conține protecție contra suprasarcinilor.

În figura 23—33 este reprezentată schema protecției maximale de curent a unui transformator. Ea cuprinde atît protecție contra suprasarcinilor care se execută monofazat (deoarece în general suprasarcinile sînt simetrice), cu un releu instantaneu de curent *1* și un releu temporizat *2*, cît și protecție contra scurtcircuitelor din care fac parte trei relee maximale de curent *3* și releele de timp *4* și *5*. Alimentarea protecției se face prin transformatoare de măsură de curent montate pe partea dinspre sursa de alimentare, pentru ca protecția să lucreze și la supracurenți provocați de defectele din interiorul transformatorului.

Releul de timp *4* (care acționează asupra întrerupătorului de pe partea receptoarelor) are o treaptă mai mică de timp decît releul de timp *5* (care acționează asupra întrerupătorului de pe partea de alimentare). Această

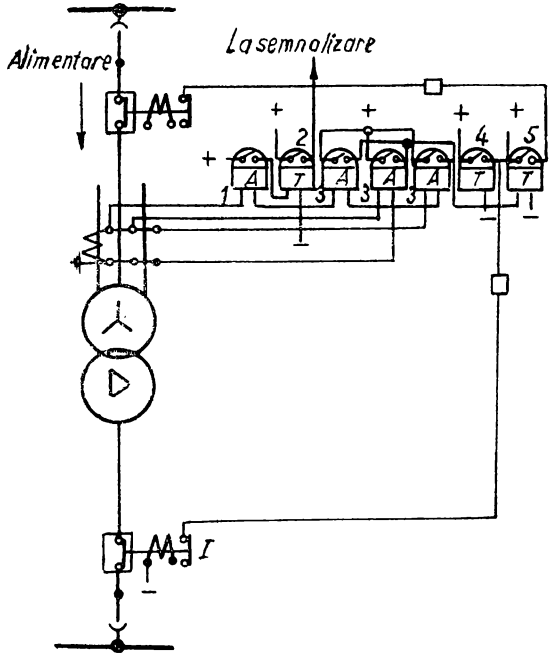


Fig. 23—33. Schema protecției maximale de curent a unui transformator.

temporizare în trepte are ca scop, în primul rînd, să realizeze o protecție selectivă a instalației și totodată să înlesnească sarcina personalului de exploatare în determinarea cauzei defectului. În cazul scurtcircuitelor exterioare declanșează întrerupătorul de pe partea receptoarelor, întrerupătorul de pe partea alimentării nu ajunge să fie declanșat, deoarece temporizarea releului *5* (care comandă declanșarea acestui întrerupător) este mai mare, și deoarece supracurentul din transformator a dispărut după declanșarea întrerupătorului de pe partea receptoarelor.

În cazul unor defecte interioare ale transformatorului declanșează ambele întrerupătoare.

Întrebări recapitulative

1. Din ce se compune protecția maximală de curent temporizată a unui transformator?
2. În ce parte a instalației trebuie montate transformatoarele de curent în cazul unei protecții maximale temporizate?
3. Care dintre întrerupătoare va declanșa, în cazul apariției unui scurtcircuit pe partea dinspre receptor?

PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ A TRANSFORMATOARELOR

1. Schema protecției diferențiale instantanee pentru un transformator cu conexiunea stea-stea.

Cînd transformatoarele au aceleași conexiuni în înfășurarea primară ca și în cea secundară, protecția diferențială este mai simplă decît în cazul cînd conexiunile celor două înfășurări sînt diferite. În figura 23—34 s-a reprezentat schema protecției diferențiale instantanee pentru un transformator cu conexiunea stea-stea. În cazul unui regim normal de funcționare prin primarul transformatorului de forță T va circula curentul I_1, iar prin secundarul transformatorului de forță, curentul I_2. Între curenții I_1 și I_2 există, în cazul funcționării normale, o relație constantă în funcție de raportul de transformare al transformatorului de forță. Transformatoarele de măsură de curent *1* și *2* se aleg astfel încît, în regim normal de funcționare, curenții i_1 și i_2 ai secundarelor să fie egali. În acest caz, pe cele trei circuite care alimentează cele trei relee instantanee de curent *3* circulă un curent de dezechilibru (i_{dez}) egal cu zero.

Curentul de dezechilibru (i_{dez}) este dat de diferența curenților i_1 și i_2 ai secundarelor transformatoarelor de măsură de curent *1* și *2*.

$$i_{dez} = i_1 - i_2.$$

În cazul unui scurtcircuit în interiorul transformatorului de forță, curentul I_2 din secundarul acestuia își va schimba sensul, îndreptîndu-se spre locul scurtcircuitului, deci spre transformatorul de forță. Ca urmare, curentul i_2 din secundarul transformatorului de măsură de curent *2* își va schimba și el sensul. Curentul de dezechilibru va fi în acest caz suma curenților secundari i_1 și i_2 ai transformatoarelor de măsură :

$$i_{dez} = i_1 - (-i_2) = i_1 + i_2.$$

Releele instantanee de curent *3* sînt în așa fel reglate, încît o astfel de valoare a curentului de dezechilibru să le facă să lucreze, adică să-și închidă contactele. Astfel, releul intermediar *4* va declanșa întrerupătoarele (prin intermediul bobinelor de declanșare), făcînd să lucreze și cele *2* relee de semnalizare *5*.

Un dezavantaj al acestei protecții este faptul că și în regim normal de funcționare apar diferențe între curenții i_1 și i_2, datorită curenților de mag-

netizare ai transformatoarelor. Valoarea acestor diferențe, adică a curentului de dezechilibru, este cu atît mai mare cu cît curentul de sarcină din primar se mărește sau în cazurile de punere în funcțiune a transformatoarelor. Deci trebuie avut în vedere ca releele *3* să fie astfel reglate încît să nu acționeze la aceste valori ale curentului de dezechilibru.

2. Schema legăturilor reductoarelor de curent pentru protecția diferențială a unui transformator de forță cu conexiunea stea-triunghi

Schema protecției realizată ca în figura 23—34 se poate folosi numai în cazurile cînd conexiunile înfășurărilor primare și secundare ale transformatorului de forță sînt identice. În cazul cînd conexiunile înfășurărilor transformatorului de forță nu sînt identice, de exemplu ca în figura 23—35,

Fig. 23—34. Schema protecției diferențiale instantanee pentru un transformator cu conexiunea stea-stea.

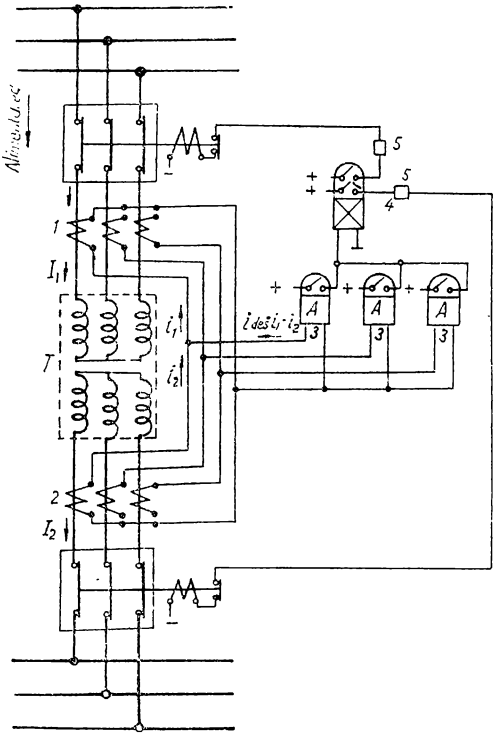
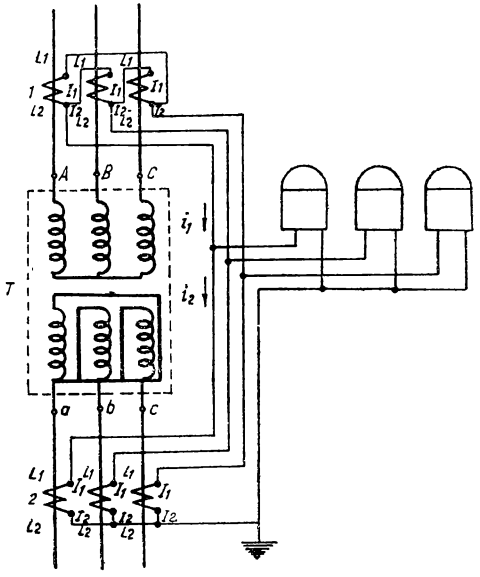


Fig. 23—35. Schema legăturilor reductoarelor de curent pentru protecția diferențială a unui transformator de forță cu conexiunea stea-triunghi.



în care înfășurarea (A, B, C) a transformatorului de forță T este legată în stea, iar cealaltă înfășurare (a, b, c) este legată în triunghi, schema de protecție diferențială a transformatorului diferă de cea expusă anterior.

Pentru a se realiza totuși și în aceste cazuri protecția diferențială, este necesară utilizarea unei scheme de legături speciale la bornele secundare ale transformatoarelor de măsură de curent, care să permită obținerea unui curent de dezechilibru cît mai mic.

În figura 23—35 înfășurările secundare ale transformatoarelor de măsură de curent montate pe partea înfășurării conectate în stea a transformatorului de forță sînt legate în triunghi, iar înfășurările secundare ale transformatoarelor de măsură de curent montate pe partea înfășurării conectate în triunghi a transformatorului de forță sînt legate în stea.

Curenții i_1 și i_2 ai celor două transformatoare de măsură de curent sînt astfel în fază, cu toate că curenții din înfășurarea primară și din cea secundară a transformatorului de forță sînt decalați între ei cu un unghi de 30°.

Întrebări recapitulative

1. Cînd este mai simplă protecția diferențială: în cazul cînd cele două înfășurări ale transformatorului au aceleași conexiuni sau cînd ele diferă?
2. La ce valoare a curentului de dezechilibru se reglează releele instantanee de curent în cazul protecției diferențiale?
3. Ce dezavantaj prezintă protecția diferențială a transformatoarelor?
4. După ce schemă se execută legăturile transformatoarelor de măsură de pe cele două părți ale transformatoarelor de forță atunci cînd conexiunea acestora este stea-triunghi?

PROTECȚIA DE CURENT DIFERENȚIALĂ TEMPORIZATĂ

Pentru evitarea efectului curenților de magnetizare se prevede ca protecția diferențială să lucreze cu o anumită întîrziere. Această perioadă de timp este astfel aleasă încît să se poată amortiza curenții de magnetizare. Această întîrziere are valori cuprinse între 0,3 și 0,8 secunde.

În figura 23—36 este reprezentată o astfel de schemă a protecției diferențiale cu temporizare pentru un transformator de forță cu conexiunea

stea-stea. Cînd transformatorul de forță este pus sub tensiune, releul *3* va acționa datorită creșterii curentului de magnetizare. Contactele releului *3* închizîndu-se, va începe să lucreze releul de timp *6*. Releul de timp *6* însă este reglat să acționeze după un timp în care creșterea curentului de magnetizare datorită variației bruște a tensiunii la punerea în funcțiune a transformatorului de forță a dispărut. În acest caz contactele releului maximal *3* revin în poziție inițială și protecția nu va comanda declanșarea întrerupătoarelor. În cazul unui defect, releul de timp *6* va acționa declanșarea întrerupătoarelor după scurgerea timpului la care este reglat (prin intermediul releului intermediar *4*, a releelor de semnalizare *5* și a bobinelor de declanșare).

Întrebări recapitulative

1. Ce se înțelege prin protecție diferențială temporizată ?
2. De ce este necesar să se temporizeze protecția diferențială ?

PROTECȚIA PRIN RELEE DE GAZE

În cazul unor defecte interioare ale transformatorului, care au ca urmare o circulație de curenți relativ mici de defect, protecția diferențială și cea maximală de curent nu acționează.

Astfel de defecte au ca urmare, în cazul transformatoarelor cu ulei, o descompunere a uleiului și a altor substanțe izolante, care provoacă o degajare de gaze. Aceste gaze fiind mai ușoare decît uleiul, se ridică pînă cînd intră în conservatorul de ulei. Pe conducta care leagă conservatorul de transformator se montează protecția cu gaze, care lucrează sub acțiunea gazelor respective degajate.

Un exemplu de protecție cu releu de gaze pentru un transformator trifazat este dat în figura 23—37. Releul de gaze *1* are două contacte. Contactul de sus acționat de flotorul superior al releului comandă semnalizarea defectului, iar contactul de jos al releului acționat de flotorul inferior comandă declanșarea întrerupătorului, care deconectează transformatorul din circuit. Contactul superior acționează la defecte mai ușoare, în acest caz este suficient ca personalul de serviciu să fie înștiințat prin semnalizare de existența defectului. Contactul inferior acționează la defecte mai grave, din

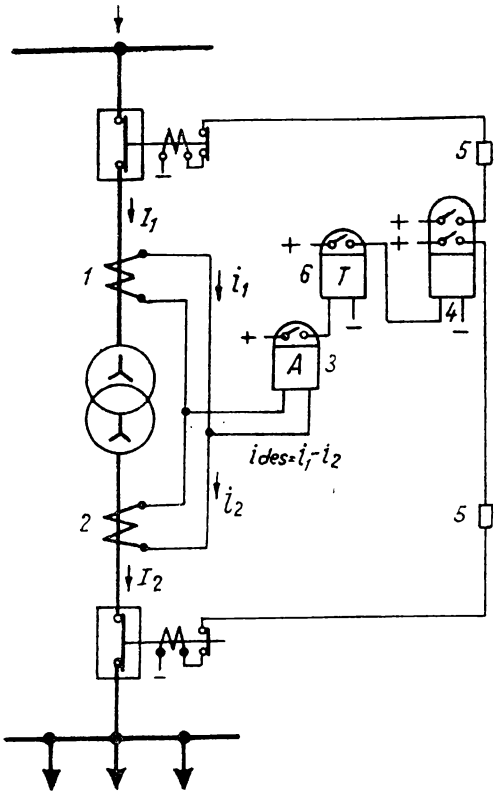


Fig. 23—36. Schema monofilară a protecției diferențiale temporizate pentru un transformator cu conexiunea stea-stea.

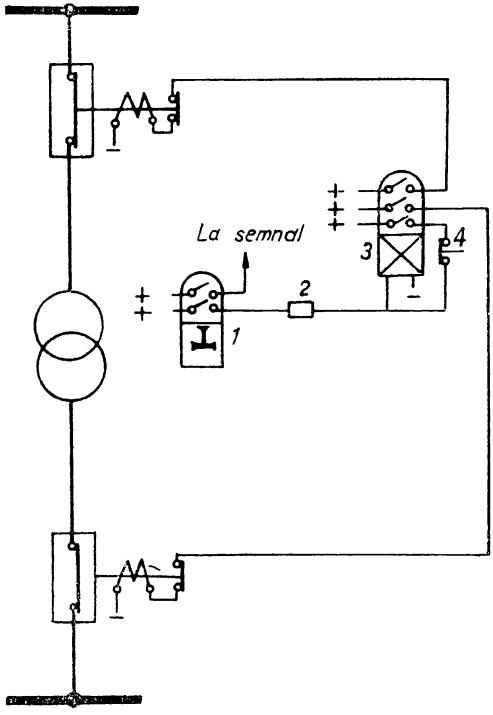


Fig. 23—37. Schema de protecție prin relee de gaze:
1 — releu de gaze; *2* — releu de semnalizare; *3* - releu intermediar; *4* - buton pentru deblocarea protecției.

această cauză este necesară o deconectare instantanee a transformatorului din circuit concomitent cu semnalizarea acestei situații personalului de serviciu.

În cazul unui defect mai grav contactul inferior al releului *1* se închide, astfel se închide circuitul care face să acționeze releul *2*, de semnalizare a declanșării, și releul intermediar *3*. Contactul superior va închide circuitul bobinei de declanșare, realizînd astfel declanșarea întrerupătorului superior. Contactul din mijloc al releului intermediar *3* va închide circuitul bobinei de declanșare a întrerupătorului inferior, realizînd astfel declanșarea acestuia.

Pentru asigurarea deconectării transformatorului de la rețea și în cazul unui defect grav de scurtă durată, se prevede releul intermediar *3* cu un con-

tact (cel inferior), care realizează autoreținerea acestui releu. Prin intermediul butonului *4* contactul inferior al releului intermediar *3* alimentează permanent releul menținîndu-l permanent armat.

Revenirea releului intermediar în poziție inițială se realizează deschizînd întîi contactele releului cu gaze și apăsînd după aceasta butonul *4*; alimentarea releului intermediar *3* este astfel întreruptă, el revenind în poziția inițială prin deschiderea contactelor sale.

Întrebări recapitulative

1. Cine este agentul care provoacă acționarea releului de gaze?
2. Unde se montează releul de gaze?
3. Ce fel de comandă dau contactele de sus ale releului și ce comandă dau cele de jos?
4. Cine asigură deconectarea transformatorului de la rețea în cazul unui defect grav de scurtă durată și cum se realizează acest lucru?

PROTECȚIA MOTOARELOR ELECTRICE ÎMPOTRIVA SCURTCIRCUITELOR ȘI A SUPRASARCINILOR

În timpul funcționării motoarelor electrice pot surveni numeroase cauze, care să conducă la supraîncărcarea lor.

Astfel, la motoarele asincrone, care sînt cele mai răspîndite, supraîncărcările sînt provocate de obicei de: — supraîncărcarea mecanică —, scăderea tensiunii în rețea, întreruperea unei faze a circuitului care alimentează motorul.

La scăderea tensiunii din rețeaua de alimentare turația scade, iar curentul absorbit din rețea crește, producînd deci o supraîncărcare. Dacă scăderea de tensiune este mare și de lungă durată, motorul se oprește.

În cazul cînd se întrerupe o fază a circuitului de alimentare, turația scade de asemenea și curenții din cele două faze rămase în funcțiune cresc cu 70—80 %.

Curenții de suprasarcină provoacă o creștere a temperaturii înfășurărilor motorului peste valoarea admisibilă, ceea ce produce deteriorarea izolației motorului. În cazul unei suprasarcini mai importante este posibilă defectarea motorului.

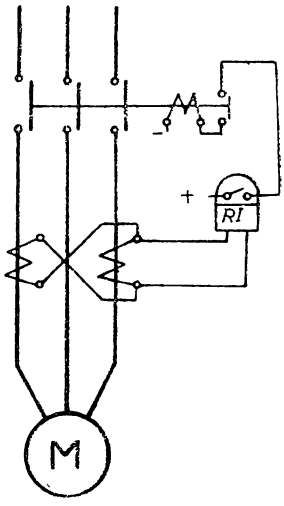


Fig. 23—38. Schema protecției unui motor împotriva suprasarcinilor și scurtcircuitelor.

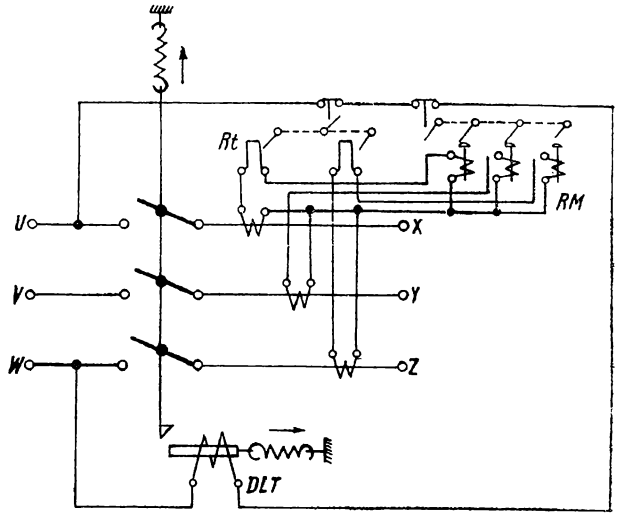


Fig. 23—39. Întrerupător DITA : *DLT* — declanșator de tensiune nulă; R_t — releu termic; *RM* — releu electromagnetic.

În afară de cauzele de ordin exterior arătate mai sus, pot apărea defecțiuni în însăși motorul electric, cum ar fi :

— scurtcircuite bi- și trifazate ;

— scurtcircuite între spirele aceleiași faze ;

— punerea la pământ a uneia sau mai multor faze.

Aceste defecțiuni conduc, de asemenea, la supraîncărcări și la încălziri peste limitele admise.

Pentru protecția motoarelor contra scurtcircuitelor se întrebuințează în general o protecție maximală de curent cu acțiune instantanee (tăiere rapidă).

Contra suprasarcinilor se prevede o protecție maximală de curent cu temporizare, care comandă, după caz, reducerea sarcinii, semnalizarea sau deconectarea motorului.

O protecție simplă și eficace este arătată în figura 23—38, folosită în cazul alimentării unui motor de la o rețea trifazată fără fir neutru.

Releul este alimentat de la reductoarele de intensitate montate pe două din faze. El este combinat dintr-un sistem electromagnetic, care formează protecția instantanee contra scurtcircuitelor și un sistem de inducție, care formează protecția cu acțiune întîrziată contra suprasarcinilor.

Protecția contra suprasarcinilor se poate realiza de asemenea prin folosirea de siguranțe fuzibile sau prin relee termice.

Astfel, întrerupătoarele de tipul DITA (cu contactele în aer) din figura 23—39 folosesc o protecție contra suprasarcinilor și a scurtcircuitelor, prin utilizarea de relee electromagnetice și termice.

La reglajul releelor trebuie să se țină seama de curentul de pornire al motoarelor. De asemenea, în cazul folosirii siguranțelor fuzibile, acestea trebuie calculate astfel încît să nu se topească la curentul normal al motorului și nici la curentul de pornire, trebuind să satisfacă relațiile :

$$I_f \geqslant I_n,$$

$$I_f \geqslant \frac{I_p}{c}$$

unde :

I_f este curentul nominal al fuzibilului ;

I_n — curentul nominal al motorului ;

I_p este curentul de pornire al motorului ;

$c = 2{,}5$ pentru porniri de scurtă durată (5—10 s), la intervale mari de timp și $c = 1{,}6 \ldots 2$ pentru porniri de lungă durată (10—40 s) sau pentru porniri repetate la intervale mici de timp.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele cauze care provoacă supraîncărcarea motoarelor electrice ?
2. Ce fel de protecție se folosește împotriva scurtcircuitelor ?
3. Ce comenzi poate să dea protecția maximală temporizată folosită împotriva suprasarcinilor ?
4. Ce fel de relee se folosesc pentru protecția împotriva scurtcircuitelor și ce fel de relee se folosesc împotriva suprasarcinilor ?

PROTECȚIA MINIMALĂ DE TENSIUNE A MOTOARELOR ELECTRICE

În afară de protecțiile împotriva suprasarcinilor și a scurtcircuitelor este necesar să asigure o protecție de tensiune minimă, adică o protecție care să asigure întreruperea circuitului cînd tensiunea este sub o anumită limită, în cazurile cînd motoarele electrice nu permit pornirea prin legarea directă

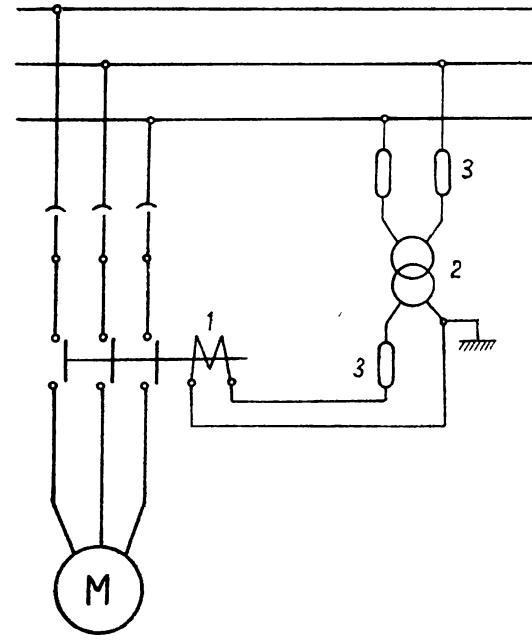


Fig. 23-40. Protecția de tensiune minimă:
1 — bobină de tensiune nulă; *2* — reductor de tensiune; *3* — siguranțe.

la rețea sau autopornirea, ținînd seama de condițiile procesului tehnologic sau de tipul motorului. Cea mai simplă protecție de minimă tensiune, este arătată în figura 23-40.

Ea se realizează printr-un singur releu, legat prin reductorul de tensiune între fazele rețelei. În acest caz protecția instantanee se realizează cu un releu direct, cuprins în dispozitivul de acționare al întrerupătorului. Avantajul schemei constă în simplicitate, deoarece nu necesită nici surse de curent auxiliare pentru declanșare, nici relee suplimentare.

La întrerupătoarele DITA protecția contra scăderii de tensiune se realizează printr-un declanșator electromagnetic (DLT-fig. 23—39).

La motoarele mai importante se poate realiza o schemă de protecție minimală de tensiune mai completă, cum este cea din figura 23—41, care are o caracteristică de timp independentă.

Conform acestei scheme, prin intermediul a două reductoare de tensiune monofazate *3*, racordate la fazele rețelei, se alimentează două relee instantanee de tensiune minimă *1*. Acestea acționează prin releul de timp *2* asupra bobinei de declanșare *5* a întrerupătorului motorului. Contactele celor două relee de tensiune minimă sînt legate în serie între ele și în același timp și cu contactele de semnalizare *6* ale separatorului care alimentează reductoarele

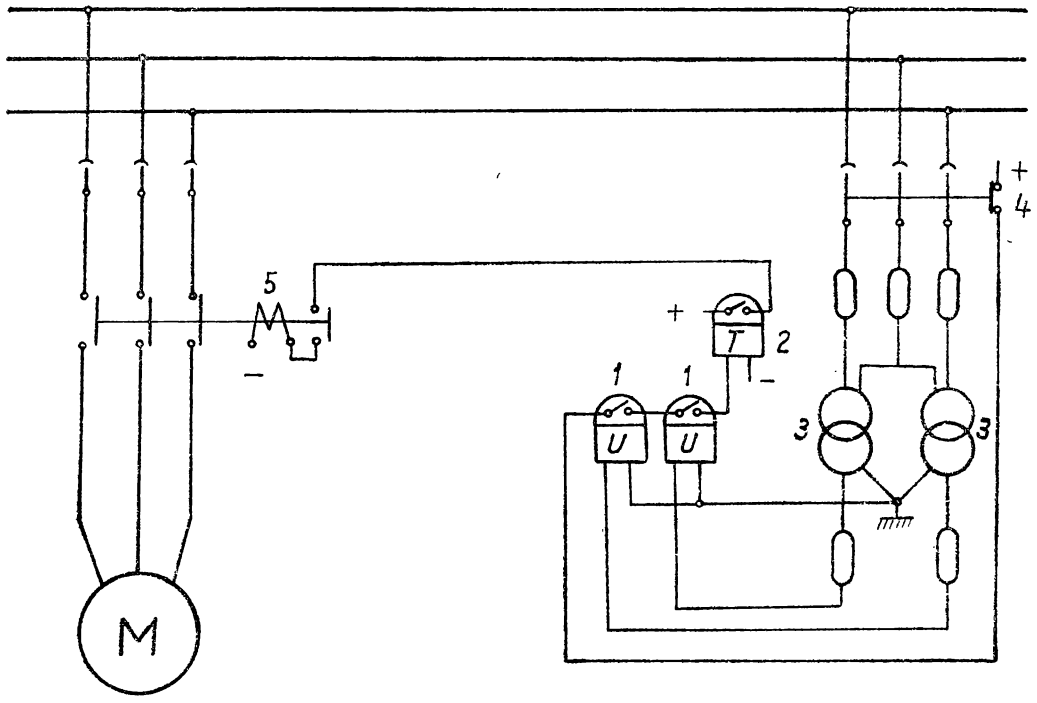


Fig. 23—41. Protecția de tensiune minimă a unui motor:
1 — relee de tensiune minimă; *2* — releu de timp; *3* — reductoare de tensiune; *4* — contact de semnalizare al separatorului; *5* — bobina de declanșare a întrerupătorului.

de tensiune, contacte care se închid numai atunci cînd separatorul este închis. Se evită astfel funcționarea inutilă a protecției, cînd separatorul este deschis. De asemenea, dacă se arde o siguranță în circuitul reductoarelor de tensiune, unul dintre relee va funcționa închizînd contactele, însă funcționarea motorului nu va fi întreruptă, deoarece al doilea releu aflîndu-se încă sub tensiune va avea contactele deschise și nu va permite alimentarea releului de timp.

Întrebări recapitulative

1. Ce scop se urmărește prin folosirea la motoarele electrice a protecției minimale de tensiune?
2. Cu ce se realizează protecția contra scăderilor de tensiune în cazul întrerupătoarelor DITA?

PROTECȚIA MOTOARELOR PRIN CONTACTOARE ELECTROMAGNETICE

Protecția motoarelor electrice se poate realiza și cu ajutorul contactoarelor electromagnetice.

Un contactor electromagnetic este un întrerupător automat de joasă tensiune, ale cărui contacte sînt menținute în poziția „închis" cu ajutorul unui electromagnet. Contactorul electromagnetului se deosebește de întrerupătorul obișnuit prin faptul că îi lipsește clichetul. În momentul cînd se întrerupe alimentarea electromagnetului, contactorul electromagnetic declanșează automat.

Dacă motorul este legat la rețea prin intermediul contactorului electromagnetic, iar înfășurarea electromagnetului de reținere este legată la rețea în derivație cu înfășurarea motorului, la o întrerupere sau o scădere a tensiunii rețelei contactorul electromagnetic va declanșa imediat îndeplinind în acest fel rolul protecției de minimă tensiune.

În figura 23—42 este arătată schema unui contactor electromagnetic. Comanda acestuia se face prin butoanele *3*. Pentru anclanșare se apasă pe butonul „închis"; în acest mod bobina electromagnetului este alimentată, armătura lui este atrasă și se închid contactele principale *4* ale contactorului; în același timp se închide și contactul de blocare *7*, care scurtcircuitează butonul „închis", astfel încît alimentarea bobinei electromagnetului să se facă și după ce nu se mai apasă pe acest buton.

Pentru deconectarea motorului se apasă pe butonul „deschis", întrerupîndu-se astfel circuitul de alimentare a bobinei electromagnetului ca urmare, armătura acestuia cade și deci contactorul electromagnetic declanșează. Concomitent se deschide și contactul *7*.

Dacă se produce o scădere a tensiunii rețelei de alimentare, contactorul electromagnetic declanșează și, după restabilirea tensiunii, el rămîne în poziția „deschis" pînă ce se va apăsa pe butonul corespunzător poziției „închis".

În schema din figura 23—42, protecția contra scurtcircuitelor este realizată prin siguranțele fuzibile *1*, iar protecția contra suprasarcinilor prin releele termice *5*, ale căror contacte sînt incluse în circuitul bobinei electromagnetului.

Un exemplu de contactor electromagnetic îl prezintă întrerupătorul DITU (cu contactele în ulei), a cărui schemă se vede în figura 23—43 și care, pe lîngă elementele schemei din figura 23—42, mai posedă trei relee electromagnetice care, prin intermediul unui contact, acționează în circuitul bobinei electromagnetului de reținere.

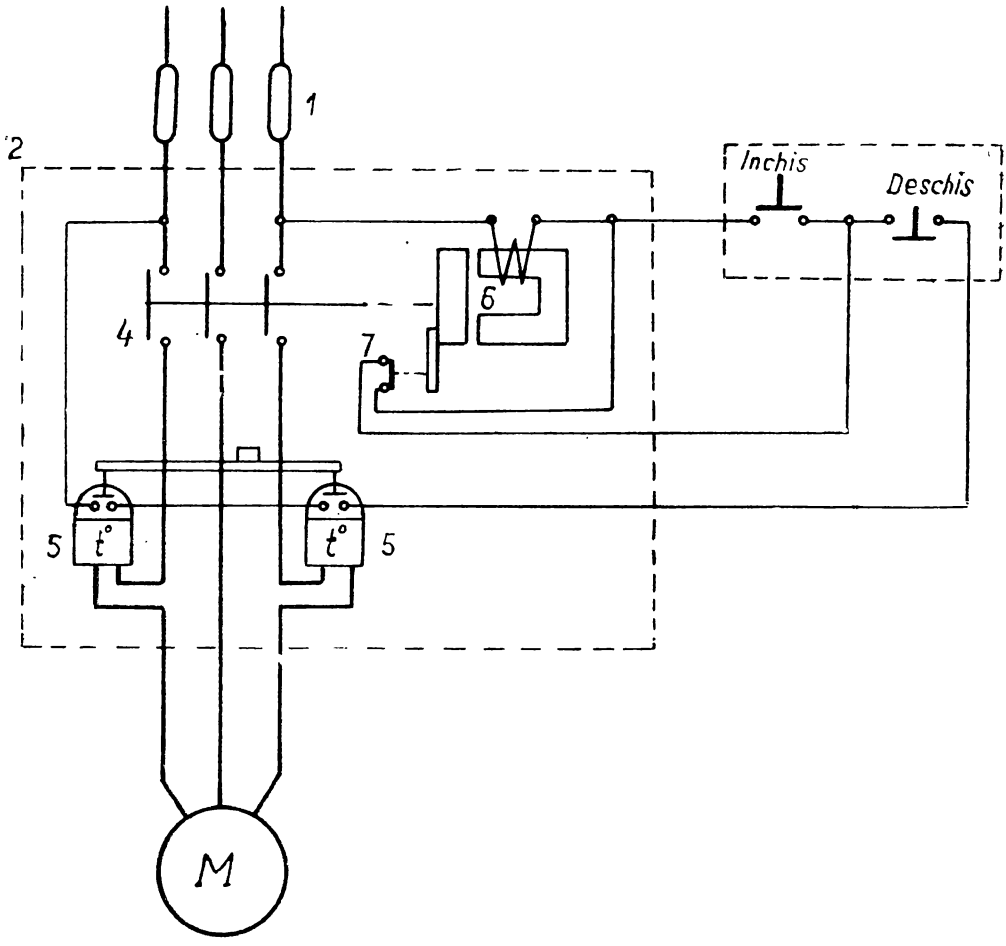


Fig. 23—42. Protecția unui motor prin contactor electromagnetic :

1 — siguranțe; *2* — contactor electromagnetic; *3* — butoane de comandă ale contactorului; *4* — întrerupător; *5* — relee termice; *6* — electromagnet de reținere; *7* — contacte de blocare; *8* — buton pentru revenirea contactelor releelor termice.

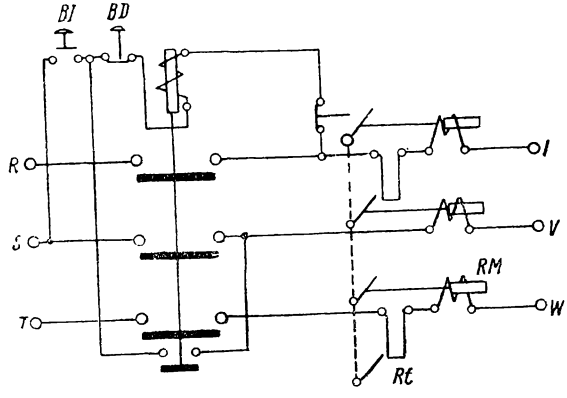


Fig. 23—43. Întrerupător DITU :

R_t — releu termic; *RM* — releu electromagnetic; *BI* — buton de anclanșare; *BD* — buton de declanșare; *ER* — electromagnet de reținere

Întrebări recapitulative

1. Ce asemănări și ce deosebiri există între contactoare și întrerupătoare?
2. Ce fel de protecție se poate realiza cu ajutorul contactoarelor?

SCHEME ALE CIRCUITELOR SECUNDARE

Schemele circuitelor secundare pot fi la fel ca și schemele circuitelor primare: monofilare, bifilare sau trifilare.

Din punct de vedere al scopului urmărit schemele circuitelor secundare pot fi:

- scheme de principiu;
- scheme de montaj.

Schemele de principiu trebuie să redea cît mai clar principiul de funcționare al ansamblului de aparate; în schemele de principiu nu se ține cont de drumul parcurs de circuite prin diferitele încăperi ale stației, ci numai de drumul electric, adică de drumul parcurs de la un punct de contact la altul.

Schemele de montaj folosesc la execuția circuitelor secundare; în aceste scheme se dau amănunte constructive care trebuie respectate de personalul de montare a circuitelor secundare. De exemplu, se dau precizări în legătură cu locul pe unde trebuie să treacă un circuit, la ce înălțime se va monta cutia terminală etc.

Schemele de principiu trebuie să fie simple și sugestive, pentru a putea fi ușor însușite. Schemele de principiu pot fi de două feluri:

- sub formă concentrată,
- sub formă desfășurată.

În schemele de principiu concentrate legăturile se fac de la aparat la aparat. Elementele componente ale aparatelor, cum ar fi bobine, contacte etc., sînt reprezentate legate de aparatul respectiv. Cînd într-o schemă de principiu concentrată apar multe aparate, circuitele și derivațiile se complică îngreunînd citirea. În astfel de cazuri este mai ușoară înțelegerea funcționării instalației pe baza unei scheme de principiu desfășurată. În schema de principiu desfășurată toate aparatele sînt descompuse în elementele lor componente, respectîndu-se ordinea trecerii curentului prin aceste elemente de la un pol la altul, polii fiind reprezentați prin două linii paralele verticale. Se construiește separat o schemă pentru

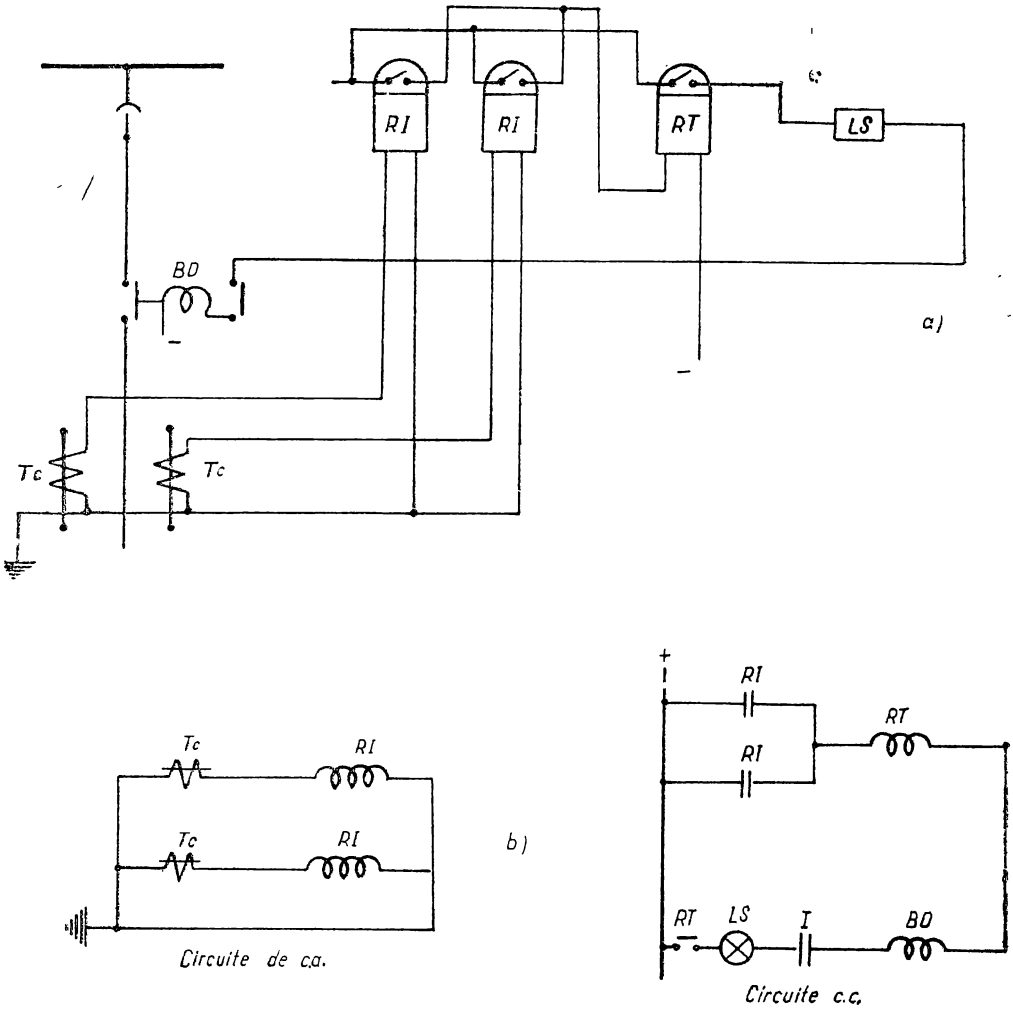


Fig. 23—44. Reprezentarea unei scheme sub formă concentrată (*a*) și sub formă desfășurată (*b*).

circuitele de curent alternativ și separat o schemă pentru circuitele de curent continuu. De exemplu, în figura 23—44, *b* se deosebesc două circuite de curent alternativ și patru circuite de curent continuu.

Figura 23—44 reprezintă schema de principiu a protecției unei linii împotriva curenților de scurtcircuit : schema de principiu este reprezentată atît sub forma concentrată *a*, cît și sub forma desfășurată *b*. În cazul cînd apare un scurtcircuit monofazat urmărirea funcționării pe schema de prin-

cipiu desfășurată se face în felul următor : prin una din fazele pe care este montat un transformator de măsură de curent *Tc* curentul se mărește ; acest curent mărit va trece și prin înfășurea releului *RI* care închide contactul său, închizînd astfel circuitul de curent continuu în care se află înfășurarea releului de timp *RT*. După trecerea timpului la care este reglat releul de timp se închide contactul releului de timp *RT*. În circuitul de curent continuu contactul întrerupătorului *I* fiind închis va trece curent atît prin bobina de declanșare *BD*, care acționează declanșarea întrerupătorului, cît și prin lampa de semnalizare *LS*, care semnalizează optic că întrerupătorul s-a deschis.

În schemele circuitelor secundare se întîlnesc contacte auxiliare ale aparatelor și contacte ale releelor. Se obișnuiește să se numească contact normal deschis (n.d.), contactele rămase deschise cînd aparatul este deconectat sau cînd releul nu are curent ; și contact normal închis (n.î.) contactele rămase închise cînd aparatul este conectat, iar releul nu are curent.

Întrebări recapitulative

1. Cum se pot clasifica schemele circuitelor secundare din punctul de vedere al scopului urmărit ?
2. Ce condiții trebuie să îndeplinească schemele de principiu și cum se clasifică ele ?
3. Cînd se folosesc schemele de principiu desfășurate și prin ce se deosebesc ele de cele concentrate ?
4. Cum se definesc contactele normal închise și contactele normal deschise atît pentru aparate, cît și pentru relee ?

SCHEME DE CONECTARE A APARATELOR DE MĂSURAT

Din cauza valorilor mari ale tensiunilor și curenților care circulă prin circuitele primare ale stațiilor electrice, măsurarea directă a valorii unor parametrii importanți, cum ar fi puterea activă și reactivă, energia activă și reactivă, curentul și tensiunea, este dificilă.

O măsurare directă a acestor parametri ar necesita aparate de măsurat costisitoare și ar pune în pericol de electrocutare persoanele care ar exploata aceste aparate.

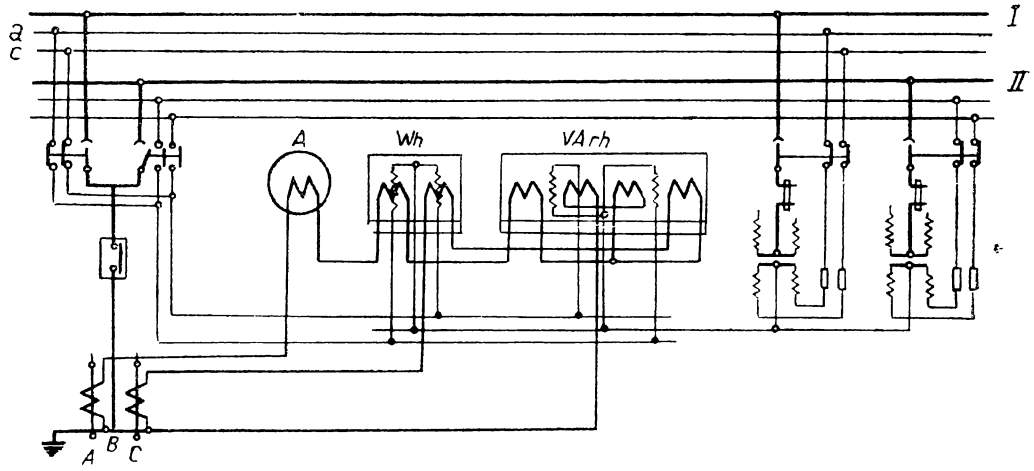


Fig. 23-45. Schemă de conectare a aparatelor de măsurat ale unei linii de plecare dintr-o instalație cu două sisteme de bare colectoare.

Prin introducerea unor transformatoare între circuitele primare și aparatele de măsură se realizează curenți și tensiuni de maximum 5A, respectiv 100 V. Transformatoarele legate în serie cu circuitul primar, și de la al căror secundar se alimentează circuitele de curent ale aparatelor de măsurat electrice se numesc transformatoare de măsură de curent. În practică se utilizează destul de frecvent pentru transformatoarele de măsură denumirea de reductoare.

Schema de conectare a aparatelor de măsurat ale unei linii de plecare dintr-o instalație cu două sisteme de bare colectoare este reprezentată în figura 23—45.

Transformatoarele de măsură de curent monofazate utilizate în acest caz sînt conectate în stea incompletă. Utilizarea montajului în stea incompletă este posibilă deoarece nu este necesară măsurarea curenților pe fiecare fază a circuitului primar. La secundarul transformatoarelor de măsură de curent sînt legate bobinele ampermetrelor și bobinele de curent ale următoarelor aparate de măsurat : contor de energie activă, contor de energie reactivă, varmetru.

Transformatoarele de măsură de curent se montează pe fiecare plecare ; pentru rețelele de 110 kV, care au neutrul legat direct la pămînt, este necesară utilizarea a trei transformatoare de măsură de curent monofazate.

Transformatoarele de măsură de tensiune se montează numai pe barele colectoare ale stației. Secundarul acestor transformatoare alimentează bobinele de tensiune ale aparatelor de măsurat de pe toate liniile de plecare.

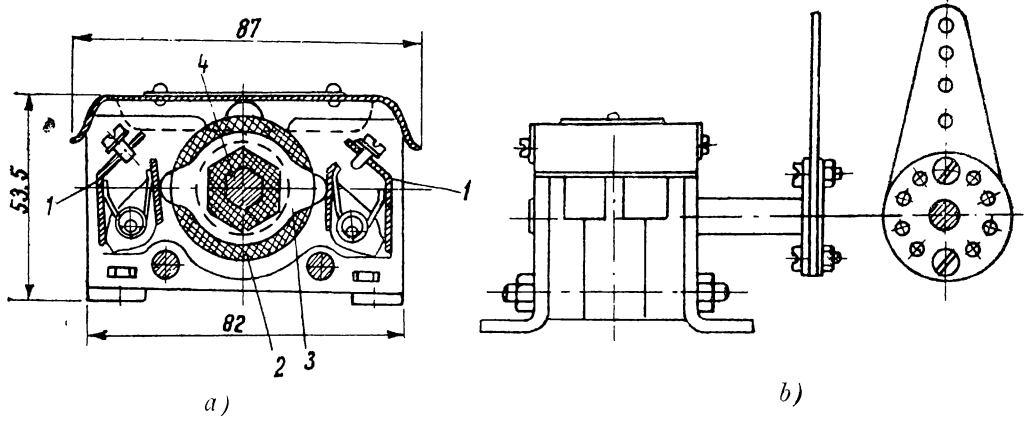
Întrebări recapitulative

1. Ce dificultăți implică conectarea directă a aparatelor de măsurat electrice?
2. Cum se conectează la circuitele primare transformatoarele de curent; dar cele de tensiune?
3. Ce se conectează în secundarul transformatoarelor de măsură de tensiune? Dar în secundarul transformatoarelor de măsură de curent?

DISPOZITIVE DE SEMNALIZARE ȘI SEMNALIZĂRILE FOLOSITE ÎN STAȚIILE ELECTRICE

Poziția separatoarelor din schema electrică (închis sau deschis) se transmite la tabloul de comandă sau la camera de comandă, prin contactele de semnalizare care închid circuitele electrice ale lămpilor de semnalizare. La separatoarele monopolare contactele de semnalizare sînt acționate de cuțitul separatorului de care sînt legate prin tije izolante. La separatoarele tripolare, contactele de semnalizare se montează pe același ax cu dispozitivul de acționare și sînt acționate de acesta. Contactul de semnalizare este constituit dintr-o cutie cu două contacte fixe *1*, la care se leagă conductoarele circuitului electric (fig. 23—46). Închiderea și deschiderea contactelor se realizează cu ajutorul unui disc rotativ *2*, prevăzut cu o lamelă de alamă *3*, care leagă între ele cele două contacte fixe. Pe un ax hexagonal *4* se pot fixa contacte pentru orice număr de circuite.

Fig. 23—46. Contact de semnalizare tip CSA:
a — secțiune; *b* — vedere exterioară.



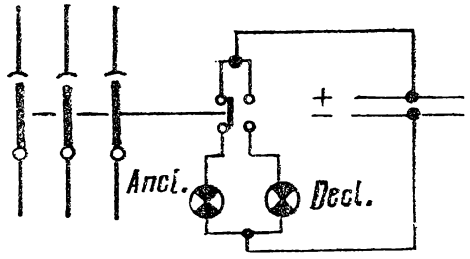


Fig. 23—47. Schema cu lămpi de semnalizare a poziției separatorului.

Pentru semnalizare se folosesc lămpi (becuri) electrice de culoare diferită. Pentru poziția „închis" a separatorului se aprinde un bec roșu, iar pentru poziția „deschis" se aprinde un bec de culoarea verde. În figura 23—47 se poate vedea schema simplă a semnalizării poziției separatorului. Alimentarea becurilor se face de la sursa de curent continuu existentă în orice stație electrică.

În afara semnalizării de poziție descrisă mai sus, pe panourile de comandă se mai prevăd următoarele semnalizări:

— semnalizare de avarie (scurtcircuit, suprasarcină)
— semnalizarea preventivă (scăderea nivelului de ulei, încălzirea lagărelor)
— semnalizarea de comandă.

Pe cînd semnalizarea de poziție și semnalizarea de comandă se face în general optic, semnalizarea de avarie și semnalizarea preventivă se face și optic și acustic.

Semnalizarea acustică se realizează printr-o sonerie, hupă sau sirenă montate în camera de comandă. Semnalizarea acustică de avarie este diferită de semnalizarea acustică preventivă.

Semnalizarea acustică atrage atenția personalului de serviciu asupra unei declanșări de avarie sau asupra operației unui regim anormal de funcționare a unei părți din instalație.

Semnalizarea optică montată pe panourile de comandă poate fi continuă cu pîlpîire, colorată sau necolorată. Ea permite identificare ușoară și rapidă a avariei sau instalației care a intrat în regim anormal de funcționare.

Întrebări recapitulative

1. Unde se folosește semnalizarea de poziție și în ce constă ea?
2. Ce se înțelege prin semnalizare de avarie?
3. Ce semnalizări se fac atît optic cît și acustic?
4. Cu ce se realizează semnalizarea acustică?

BLOCĂRI ÎMPOTRIVA MANEVRELOR GREȘITE ALE SEPARATOARELOR

În instalațiile electrice este posibilă deschiderea din eroare a separatoarelor sub sarcină, înainte de a întrerupe circuitul cu ajutorul întrerupătoarelor. Aceasta poate produce scurtcircuite grave, care distrug instalațiile precum și accidente de muncă grave.

Pentru evitarea acestor erori se procedează la blocaje între separatoare și întrerupătoare. Blocajul constă din legarea dispozitivului de acționare al separatorului de dispozitivele de acționare ale întrerupătorului, astfel încît atunci cînd întrerupătorul este închis să nu se poată închide sau deschide separatorul.

În instalațiile descrise se folosesc blocaje mecanice, blocaje electrice și blocaje pneumatice.

În cazul blocajului mecanic, dispozitivele de acționare ale separatorului și întrerupătorului se leagă între ele direct prin pîrghii rigide. În cazul blocajului electric, dispozitivele de blocare se leagă între ele prin circuite electrice.

În figura 23—48 este reprezentată schema dispozitivului de blocare electromagnetică, cu cheie electromagnetică transportabilă.

Părțile componente principale ale blocajului sînt : zăvorul de blocare *2* și cheia electromagnetică *5*.

Cheia *5* este prevăzută cu bobina *6* și fișele *7*, care se introduc în contactele unei broaște *4* asemănătoare unei prize. Ea are un electromagnet care ac-

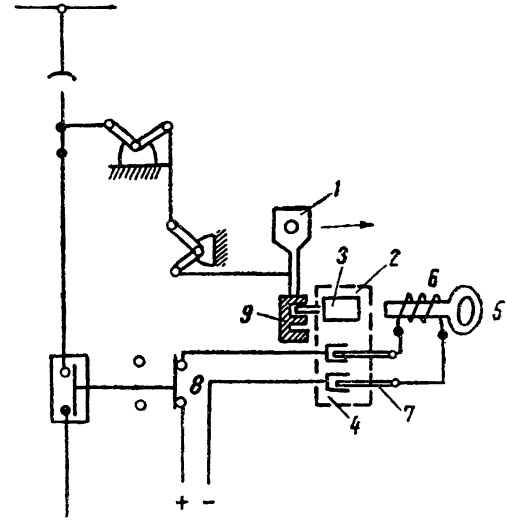


Fig. 23—48. Blocajul electromagnetic între întrerupător și separator.

ționează asupra zăvorului de blocare *3*, în funcție de poziția întrerupătorului, prin intermediul contactelor *8*.

Se constată că nu se poate deschide separatorul acționînd maneta *1* (solidară cu piesa *9*) atît timp cît întrerupătorul este închis, deoarece contactele 8 fiind deschise, electromagnetul cheii *5* nu este alimentat. Deschiderea separatorului este posibilă numai după deschiderea întrerupătorului.

Blocajul pneumatic al separatoarelor se utilizează în cazurile cînd separatoarele și întrerupătoarele sînt declanșate și anclanșate cu ajutorul aerului comprimat. Cînd întrerupătorul este închis, blocajul pneumatic împiedică aerul comprimat să ajungă la dispozitivul de acționare al separatorului. Astfel se împiedică eventualele anclanșări și declanșări greșite ale separatorului.

Întrebări recapitulative

1. Ce urmări poate avea deschiderea din eroare a unui separator sub sarcină?
2. În ce constă blocarea unui separator?
3. Cîte feluri de blocaje se folosesc la separatoare și întrerupătoare?
4. În ce cazuri se folosesc blocajele pneumatice?

EXECUȚIA ȘI EXPLOATAREA CIRCUITELOR SECUNDARE

Circuitele alimentate de secundarele transformatoarelor de măsură și de sursa de curent continuu, folosind la comandă, protecție și măsurare se numesc circuite secundare.

Cablurile circuitelor secundare grupează pentru o mai bună exploatare circuite de același fel, de exemplu se folosesc conductoarele unui cablu numai pentru circuitele transformatoarelor de curent, alt cablu numai pentru circuitele transformatoarelor de tensiune, un al treilea cablu numai pentru circuitele de curent continuu. Cablurile circuitelor secundare se pozează în interiorul stației în canale special amenajate pe pereții celulelor. În stațiile exterioare cablurile se pozează în canale acoperite din prefabricate. În cazul cînd cablurile se pozează în pămînt ele se prevăd cu etichete de identificare. În încăperile tablourilor de comandă se prevede o podea dublă pentru cablurile circuitelor secundare; de asemenea, în corpurile de comandă se prevede un semietaj pentru cabluri (podul cablurilor).

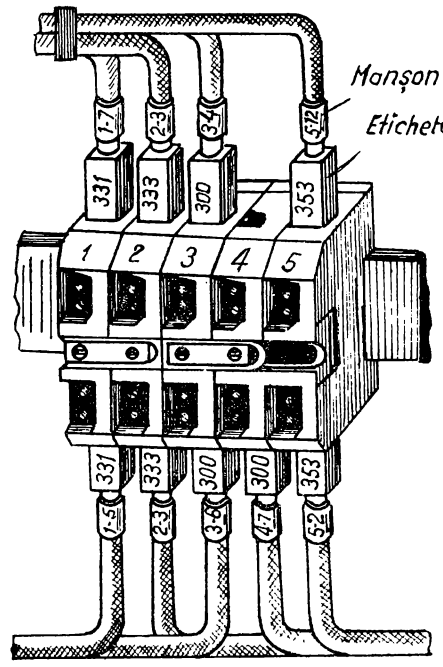


Fig. 23 49. Șir de cleme.

Ieșirea din cablu a conductorilor circuitelor secundare se face prin cutii terminale. Din cutiile de tablă conductoarele estetic fasonate, înainte de a fi conectate la aparate, relee, dispozitive sînt trecute printr-un șir de cleme. Șirul de cleme este montat pe o platbandă fixată de panoul de comandă sau de dulapul de comandă pe orizontală sau pe verticală. Fiecare clemă a șirului are cîte o etichetă, atît pentru plecarea, cît și pentru sosirea unui circuit. Pe etichetă se notează numărul circuitului și destinația lui. Astfel se realizează posibilitatea unei exploatări operative. Șirurile de cleme permit să se execute rapid, comod și sigur legăturile de derivație ale circuitelor, cu un număr minim de intersecții ale conductoarelor. Un șir de cleme format din cinci cleme este reprezentat în figura 23—49.

Atît în instalațiile interioare, cît și în cele exterioare ale unei stații, șirurile de cleme sînt protejate în cutii sau dulapuri metalice. În exterior dulapurile pentru șirurile de cleme figura 23—50 se instalează în apropierea întrerupătoarelor, transformatoarelor de măsură etc.

Eticheta de la clema din șir a unui circuit, plăcuțele de identificare care se montează pe cabluri, precum și schemele de principiu trebuie să aibă

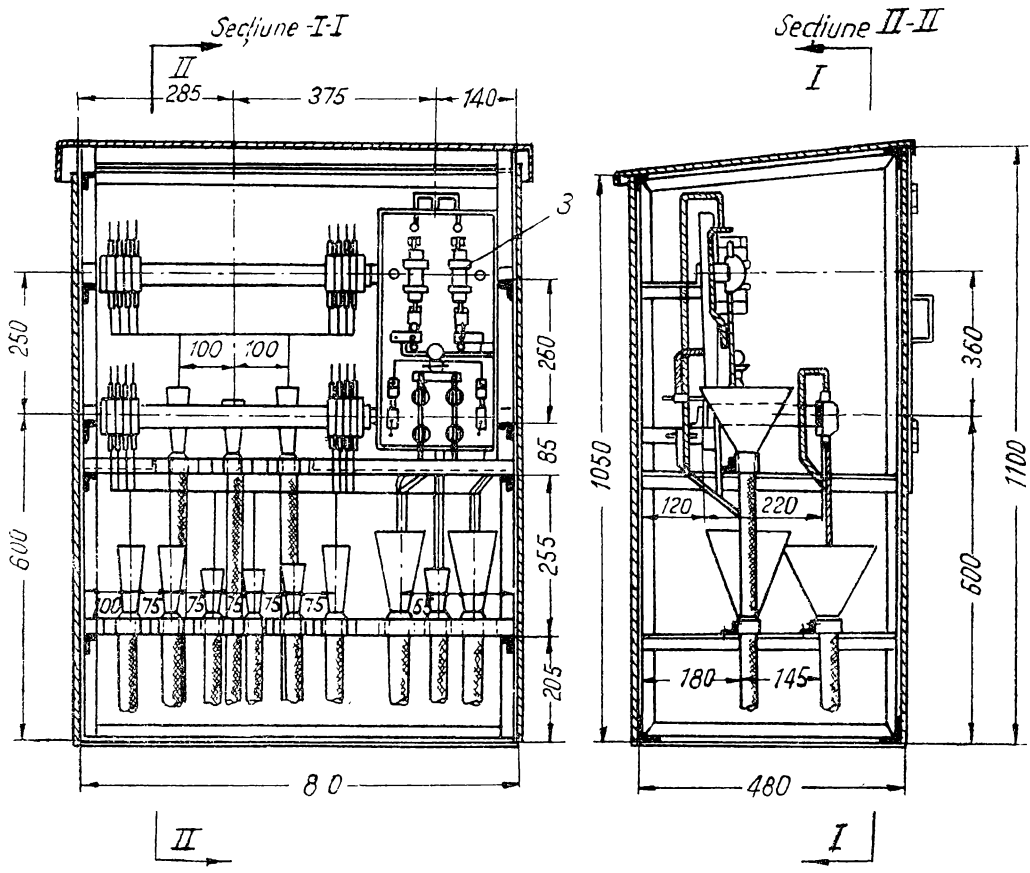


Fig. 23—50. Dulap pentru șirurile de cleme.

pentru fiecare circuit o notație unitară și clară pentru a se realiza o optimă exploatare a circuitelor secundare. Cînd cablurile circuitelor secundare sînt pozate împreună cu cablurile de energie ele trebuie despărțite prin plăci rezistente la foc.

Temperatura maximă admisibilă a aerului din tunelele de cable trebuie să fie de 10 °C.

Unele cabluri fabricate în Republica Socialistă România și utilizate în circuitele secundare sînt :

— CSHP : cablu de semnalizare cu izolație de hîrtie impregnată și manta de plumb, fără înveliș protector.

— CSY : cablu de semnalizare cu izolație și manta din clorură de polivinil, fără înveliș protector ;

— CMI : cablu de măsură, comandă și semnalizare cu izolație de cauciuc în manta de plumb, cu înveliș protector peste mantaua de plumb.

Secțiunea minimă a conductoarelor circuitelor secundare de tensiune este de 1 mm², iar a celor de curent de 2,5 mm² (cupru).

Întrebări recapitulative

1. Ce sînt circuitele secundare și de cine sînt ele alimentate?
2. Ce prelucrări comportă fiecare circuit după ieșirea lui din cutia terminală?
3. Să se enumere cîteva tipuri de cabluri fabricate în Republica Socialistă România pentru circuitele secundare.

REANCLANȘAREA AUTOMATĂ RAPIDĂ A LINIILOR (RAR)

În sistemele energetice numărul cel mai mare de defecte există pe liniile electrice aeriene de transport și distribuție, deoarece acestea sînt supuse în cea mai mare măsură fenomenelor de origine atmosferică (supratensiuni, lovituri directe de trăsnet, acoperirea izolatoarelor cu murdărie, chiciură etc.), precum și pericolului de scurtcircuite provocate de copacii căzuți în timpul furtunilor, de păsări prinse între două conductoare, de apropierea conductoarelor datorită vîntului etc.

Majoritatea defectelor de pe liniile electrice aeriene au un caracter trecător ; ele dispar dacă alimentarea liniei respective se întrerupe pentru un timp scurt. Deci dacă se întrerupe alimentarea liniei aeriene defecte prin declanșarea întrerupătoarelor de la cele două capete, în foarte multe cazuri (80 — — 95 %) se întîmplă ca în locul defectului izolația electrică să se restabilească pînă la o nouă anclanșare a întrerupătoarelor. Astfel linia aeriană poate continua să funcționeze în regim normal.

Operația de reanclanșare a întrerupătorului (după o declanșare datorită unui defect) a fost automatizată. Dispozitivele care realizează această operație se numesc dispozitive de reanclanșare automată rapidă sau, prescurtat, RAR.

Dacă aceste dispozitive acționează numai asupra unei singure faze(în cazul punerilor monofazate la pămînt) ele se numesc dispozitive de reanclanșare automată rapidă monofazată (RARM).

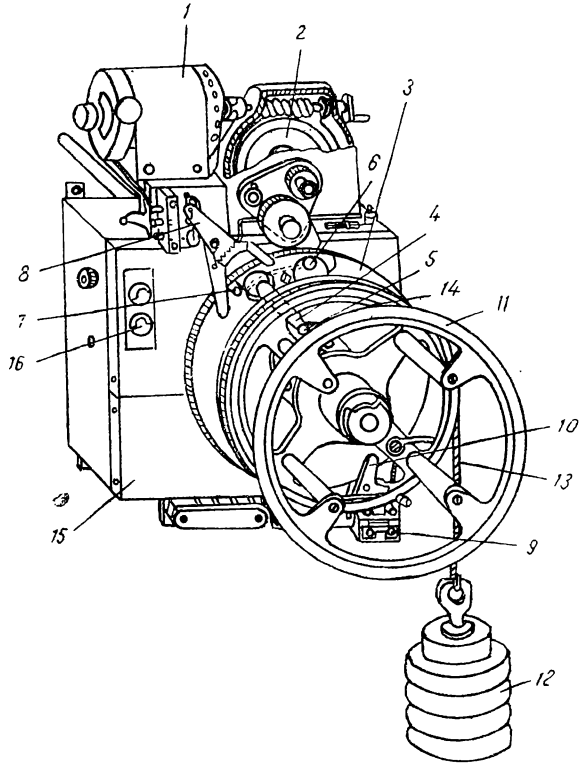


Fig. 23—51. Dispozitiv de acționare cu greutate al unui întrerupător folosit în RAR:

1 — motor electric monofazat; *2* — angrenaj reductor; *3* — angrenaj de armare; *4* — rolă; *5* — dinte; *6* — opritor; *7* — excentric; *8* — pîrghie de acționare a comenzii motorului electric; *9* — contacte; *10* — ambreiaj; *11* — roată de comandă manuală; *12* — greutate; *13* — cablu de susținere a greutății; *14* — roată de ridicare a greutății; *15* — cutie metalică sudată; *16* — butonul comenzii de decontare

Cel mai frecvent se întîlnesc dispozitive care acționează asupra tuturor celor trei faze; în acest caz dispozitivele se numesc dispozitive de reanclanșare automată rapidă trifazată (RART).

După numărul de acționări sau de cicluri se deosebesc dispozitive RAR cu un singur ciclu (declanșare — pauză — reanclanșare) și dispozitive RAR cu mai multe cicluri.

Cel mai utilizat este dispozitivul RAR cu un singur ciclu. Dispozitivele RAR cu două cicluri au o utilizare mai restrînsă, iar cele cu trei cicluri se utilizează numai în cazuri cu totul speciale. Cînd dispozitivele RAR au un singur ciclu cu o pauză mare, se numesc RAR lente.

Din punctul de vedere al principiului de funcționare, dispozitivele RAR se împart în:

— dispozitive de RAR mecanice,

— dispozitive de RAR electrice.

Dispozitivele de RAR mecanice pot fi, după modul de acționare, cu resort sau cu greutate. În figura 23—51 este reprezentat un dispozitiv de acționare al întrerupătorului folosit pentru reanclanșarea automată rapidă. După declanșarea întrerupătorului datorită protecției prin relee, greutatea este eliberată, iar prin cădere închide întrerupătorul. În caz că defectul a dispărut, linia continuă să funcționeze, iar în caz că defectul persistă, atunci protecția prin relee comandă o nouă declanșare, care de data aceasta este definitivă întrucît greutatea întrerupătorului se găsește în poziția inferioară.

În figura 23—52 este reprezentată schema unui dispozitiv electric de RAR cu o singură acționare, cu revenire manuală. În cazul unui scurtcircuit pe linie, protecția prin relee aduce plusul curentului prin contactele auxiliare I_1, care este închis, la bobina de declanșare (*BD*), aceasta declanșează întrerupătorul $I - 1$. În acest moment se deschid contactele auxiliare I_1 și I_3, iar contactele auxiliare I_2 și I_4 se închid. În această situație minusul bobinei contactorului de anclanșare *CA* primește plusul de la contactele auxiliare I_4 în felul următor : contactele auxiliare I_4 sînt închise, contactul C_1 al releului *RI* este normal închis, întrerupătorul cu pîrghie *3* este închis ; contactele auxiliare I_2 închise. Bobina contactorului de declanșare, închizînd contactele CA_1 și CA_2, face posibilă acționarea bobinei de anclanșare *AB* a întrerupătorului și întrerupătorul $I - 1$ este astfel, după un timp scurt, anclanșat. Dacă defectul este persistent, protecția prin relee va declanșa din nou întrerupătorul $I—1$ al liniei. În acest caz dispozitivul RAR nu mai trebuie să acționeze ; aceasta se realizează prin autoreținerea releului *RI* în felul următor : după prima declanșare a întrerupătorului $I - 1$, releul *2* de semnalizare primește plusul de la contactele I_4 (prin intermediul contactului C_1 normal închis al releului *RI*) și minusul de la borna din stînga a bobinei contactorului de declanșare *CA* prin intermediul contactelor auxiliare I_2 și al întrerupătorului cu pîrghie *3*. Releul de semnalizare va închide contactul său. După ce întrerupătorul $I—1$ a fost anclanșat de bobina de anclanșare *BA*, așa cum s-a arătat mai sus, releul *RI* va primi plusul de la contactele auxiliare I_3 (prin intermediul contactorului releului de semnalizare *2*, contact care este închis, din cauza primei declanșări a întrerupătorului $I—1$).

Releul *RI* închizînd contactul C_2 va primi prin aceasta un permanent plus ; astfel, releul *RI* își efectuează autoreținerea prin butonul *4* și contactul său C_2.

Contactul C_1 al releului *RI*, rămînînd acum permanent deschis, va împiedica o nouă declanșare a întrerupătorului $I—1$.

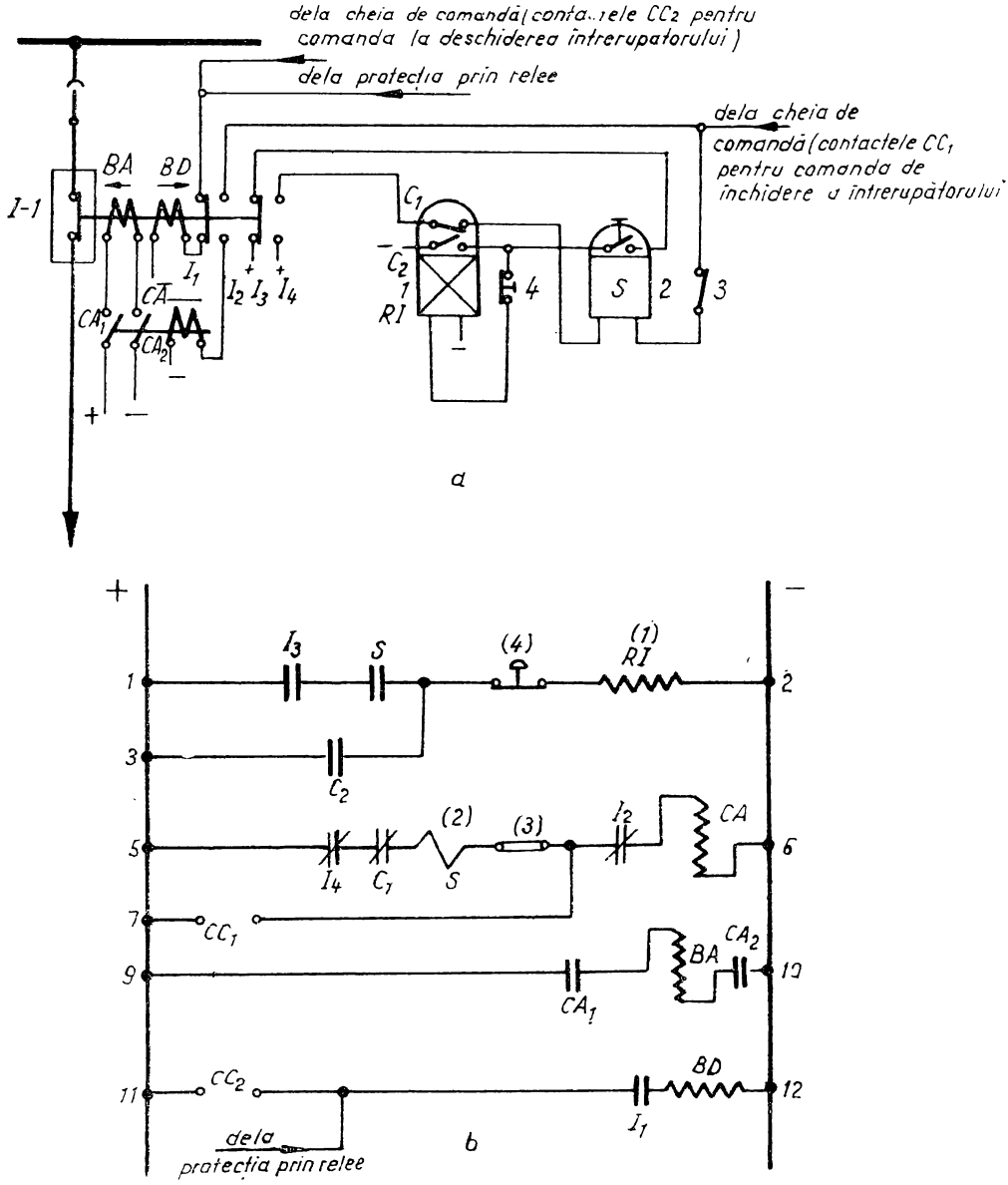


Fig. 23—52. Schema unui dispozitiv electric de RAR, cu o singură acționare, cu revenire manuală :

a — schema principială restrînsă ; *b* — schema principială desfășurată.

Pentru a aduce dispozitivul RAR în poziția inițială se va apăsa pe butonul *4* (releul *RI* se deblochează) și prin deschiderea manuală a contactului releului *S* de semnalizare. Întrerupătorul cu pîrghie *3* folosește la punerea și scoaterea din funcțiune a dispozitivului RAR.

Întrebări recapitulative

1. Care din părțile componente ale sistemelor energetice sînt cele mai expuse la defecte și de ce?
2. Cum se clasifică dispozitivele RAR în funcție de numărul de fază pe care-l deservesc și în funcție de numărul de acționări pe care-l efectuează în cadrul unui ciclu?
3. Cîte feluri de sisteme RAR se cunosc după principiul lor de funcționare?

ANCLANȘAREA AUTOMATĂ A REZERVEI (AAR)

Una din condițiile principale în funcționarea sistemelor energetice este asigurarea alimentării neîntrerupte cu energie electrică a consumatorilor. După importanța lor, așa cum s-a mai arătat, consumatorii de energie electrică se împart în trei categorii. Însă, indiferent de categoria din care fac parte, nici un consumator nu poate admite o întrerupere prea mare în alimentarea cu energie electrică.

Asigurarea alimentării în condiții optime cu energie electrică a consumatorilor se realizează prin două metode:

— alimentarea fiecărui consumator pe două căi, care să fie în permanență în funcțiune (fig. 23—53);

— alimentarea consumatorilor printr-un singur circuit, care să fie permanent în funcțiune, cu prevederea unui dispozitiv (AAR), care să anclanșeze automat o sursă de alimentare de rezervă, în cazul apariției unui defect pe circuitul de alimentare normală, ca în figura 23—54.

Din cauză că din cele două metode prima este mai costisitoare (pentru fiecare consumator este necesar de două ori mai multe aparate, iar cele două circuite de alimentare nu pot fi folosite la capacitatea maximă), în sistemele energetice se folosește pe scară largă metoda a doua. Avantajul metodei a

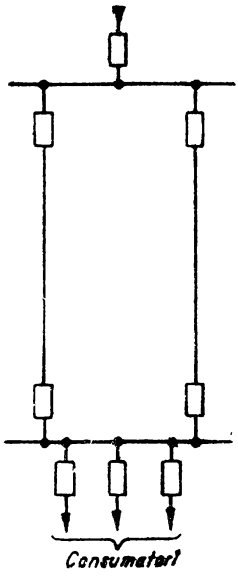


Fig. 23—53. Alimentarea pe două căi a consumatorilor.

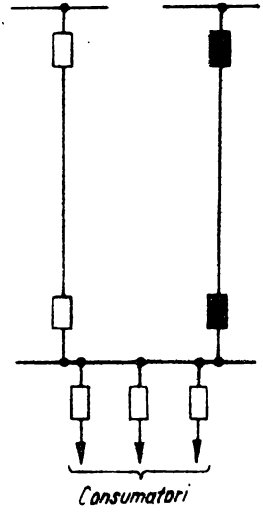


Fig. 23—54. Alimentarea consumatorilor printr-un singur circuit, existînd și circuit de rezervă.

doua rezultă și din faptul că în acest caz se poate folosi un singur circuit de rezervă pentru mai mulți consumatori, aparatajul folosit fiind mult mai redus decît în prima metodă.

În cazul alimentării consumatorilor printr-un singur circuit se prevede un dispozitiv de anclanșare automată a alimentării de rezervă (AAR), care acționează în mod automat în cazul unui defect pe circuitul de alimentare normală și comandă declanșarea întrerupătoarelor din acest circuit și anclanșarea întrerupătoarelor din circuitul de alimentare de rezervă (reprezentate înnegrit în figura 23—54).

Astfel se asigură continuitatea alimentării consumatorului respectiv cu energie electrică, cu excepția unei foarte mici întreruperi pe timpul funcționării dispozitivului de AAR care nu perturbă funcționarea normală a consumatorului de energie electrică.

În cele mai multe cazuri dispozitivul AAR este compus din două părți principale. Prima parte care acționează datorită scăderii tensiunii în cazul unui defect pe circuitul de alimentare normală și care este formată dintr-o protecție de tensiune minimă care comandă declanșarea întrerupătorilor pe circuitul de alimentare normală. Partea a doua este formată din elementele de automatizare, care după declanșarea întrerupătoarelor circuitului de alimentare normală comandă anclanșarea întrerupătoarelor de pe circuitul de alimentare de rezervă. În acest fel se restabilește alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Întrebări recapitulative

1. Prin ce metode se asigură alimentarea continuă a consumatorilor cu energie electrică?
2. Care din cele două metode este mai frecvent folosită și de ce?
3. Care sînt cele două părți principale care alcătuiesc dispozitivele AAR?

DISPOZITIVUL DE DESCĂRCARE AUTOMATĂ A SARCINII (DAS)

Un sistem energetic funcționează în condiții bune atunci cînd puterea debitată de generatoare este egală cu puterea cerută de consumatori. În acest caz frecvența sistemului se menține constantă și egală cu valoarea nominală.

Apariția unui deficit de putere în sistem duce la scăderea frecvenței. Deficitul de putere poate fi provocat de ieșirea din funcțiune a unui generator sau a mai multor generatoare sau din cauza conectării la sistem a unor consumatori mari de energie electrică.

La apariția unui deficit de putere în sistem sînt două situații posibile:

— Deficitul de putere apărut în sistem este mai mic decît puterea totală de rezervă cu care se pot încărca generatoarele în funcțiune; în acest caz, după un anumit interval de timp, în sistem se restabilește regimul normal la valoarea nominală a frecvenței.

— Deficitul de putere apărut în sistem este mai mare decît puterea totală de rezervă cu care se pot încărca generatoarele în funcțiune; în acest caz frecvența continuă să scadă.

Scăderea frecvenței sub anumite limite duce la perturbarea funcționării motoarelor electrice (atît cele din serviciile interne, cît și ale consumatorilor). Perturbarea funcționării motoarelor serviciilor interne duce la o altă scădere de putere (din cauza scăderii producției de abur, sau a temperaturii aburului etc.), care se suprapune peste deficitul inițial de putere, ducînd la o și mai mare scădere a frecvenței.

Se impune deci, în cazurile cînd apare un deficit de putere care să fie mai mare decît puterea totală de rezervă cu care se pot încărca generatoarele în funcționare, să se ia măsuri rapide pentru restabilirea egalității între puterea debitată și cea consumată. Sînt două soluții:

— conectarea unor generatoare de rezervă;

— deconectarea unor consumatori.

Deoarece prima soluție cere un timp inadmisibil de mare se recurge la soluția a doua; se deconectează automat unii consumatori, astfel încît puterea consumată să scadă pînă la puterea debitată de generatoarele în funcțiune, restabilindu-se astfel și valoarea nominală a frecvenței.

Dispozitivele care în cazul scăderii frecvenței sub anumite limite comandă automat deconectarea unor consumatori, pentru a restabili frecvența, se numesc *dispozitive de descărcare automată a sarcinii* (DAS).

Deconectarea consumatorilor se face după următorul criteriu: întîi sînt deconectați consumatorii de mai mică importanță pentru economia națională apoi, în cazul scăderii în continuare a frecvenței, sînt deconectați și alți consumatori, în ordinea importanței crescînde.

Întrebări recapitulative

1. Cum se manifestă deficitul de putere într-o rețea electrică și cum poate surveni el?
2. Care sînt consecințele scăderii frecvenței într-o rețea electrică?
3. Cum se poate realiza un echilibru între puterea debitată în rețea și cea cerută de consumatori?
4. După ce criterii se realizează deconectarea consumatorilor în vederea îmbunătățirii frecvenței rețelei?

Capitolul XXIV

CAMERA DE COMANDĂ

AMPLASAREA CAMEREI DE COMANDĂ

Camera de comandă este punctul central al unei instalații electrice (stație sau centrală electrică), de unde se supraveghează în permanență regimul de funcționare pentru respectarea parametrilor nominali ai instalației. În camera de comandă sînt amplasate instalațiile de comandă și automatizare, instalațiile de măsurare și control, instalațiile de semnalizare și uneori și releele de protecție.

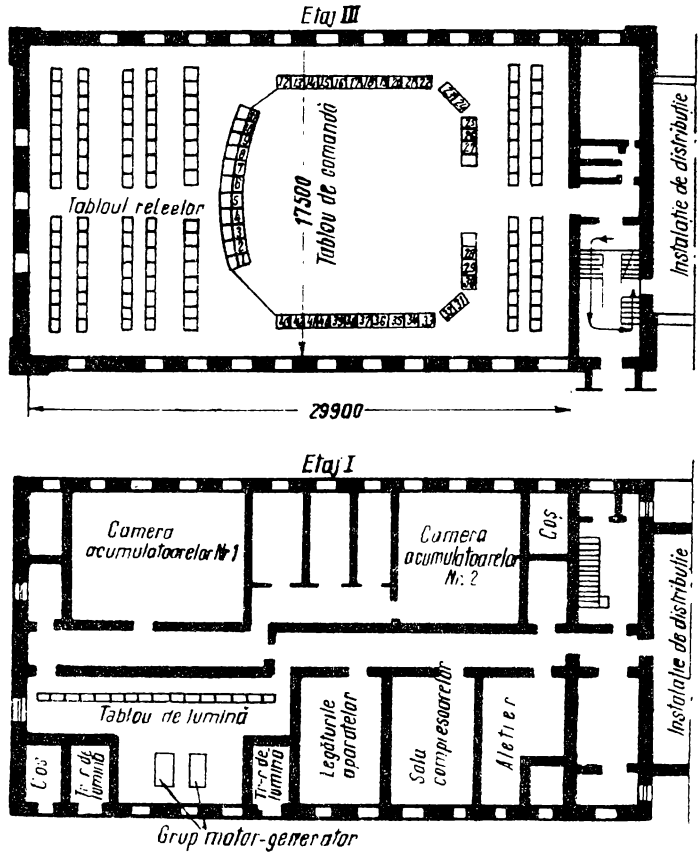


Fig. 24 — 1. Etajele I și III ale clădirii unei stații electrice.

Din camera de comandă personalul de serviciu efectuează comanda și controlul funcționării echipamentului electric al instalației.

Avînd în vedere importanța pe care o reprezintă camera de comandă în complexul instalațiilor stației, precum și sarcinile personalului de serviciu care o deservesc, camera de comandă trebuie să îndeplinească următoarele cerințe :

— să fie amplasată separat de celelalte instalații pentru a se crea condiții favorabile unei munci în condiții optime a personalului de serviciu ;

— amplasarea camerei de comandă trebuie făcută astfel încît să se poată executa ușor legăturile cu instalațiile care alcătuiesc unitatea respectivă ;

— lungimea cablurilor de comandă, de protecție și de măsură care leagă camera de comandă de celelalte instalații trebuie să fie cît mai mică.

O amplasare des utilizată a stațiilor electrice este cea în clădiri cu trei etaje (fig. 24—1).

Primul etaj cuprinde :

— camera sau camerele bateriilor de acumulatoare ;
— camera grupului convertizor pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare ;
— camera compresoarelor pentru aer comprimat ;
— transformatoarele serviciilor interne ;
— încăperi auxiliare ;
— instalații de distribuție interioare.

Etajul al doilea reprezintă un semietaj al cablurilor de măsurare, de control, de protecție și de semnalizare ; se mai numește și „podul cablurilor".

Etajul al treilea cuprinde camera de comandă și două sau trei camere pentru personalul de serviciu. Camera de comandă trebuie astfel amplasată, încît instalațiile de distribuție exterioare să fie vizibile. Panourile de comandă trebuie să fie astfel distribuite, încît să permită o urmărire a aparatelor de măsurare și semnalizare. De obicei ele se montează în formă de poligon și astfel se realizează vizibilitatea a cît mai multor panouri dintr-un singur punct. Tablourile releelor și ale aparatelor înregistratoare se plasează în spatele panourilor de comandă, în rînduri paralele.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele cerințe care trebuie avute în vedere la amplasarea camerei de comandă ?
2. Cum se repartizează pe etaje utilajul într-o stație electrică ?

PANOURI DE COMANDĂ CU SCHEMA OARBĂ ȘI APARATE DE MĂSURAT

Numărul mare de aparate care au legături la panourile tabloului de comandă necesită o așezare foarte clară, fără de care munca personalului de serviciu ar fi mult îngreuiată. Instalarea aparatelor pe panourile tabloului de comandă trebuie executată cu respectarea următoarelor condiții :

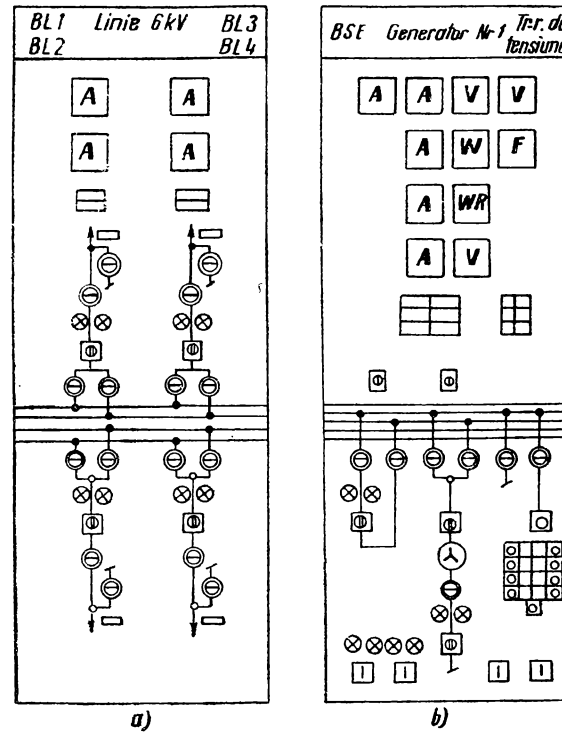


Fig. 24—2. Panouri de comandă cu schemă oarbă și aparate de măsurare :
a — pentru linie ; *b* — pentru generator.

— pe fața panoului nu trebuie să existe aparate de prisos, care nu necesită o supraveghere continuă din partea personalului, cum ar fi : contoare, aparate înregistratoare etc. ;

— poziția panourilor în camera de comandă trebuie să asigure o bună vizibilitate a cît mai multor panouri dintr-un singur punct. În acest scop panourile se așază astfel încît tabloul capătă forma unui poligon încadrat într-o elipsă ;

— panoul trebuie completat astfel, încît aparatele circuitelor de același fel să fie așezate pe panouri vecine și să formeze porțiuni separate, de exemplu : porțiunea transformatoarelor, a liniilor, a serviciilor interne etc. ;

— aparatele de măsurat trebuie așezate astfel pe panourile tablourilor, încît să asigure un acces ușor la ele și o bună vizibilitate a scării acestora. Aparatele de măsurat se montează pe partea superioară a panourilor verticale, pe cîteva rînduri, ținîndu-se seama ca aparatele cu aceeași destinație să fie așezate într-un singur rînd. Cînd pe același panou trebuie așezate

aparatele mai multor circuite, aparatele fiecărui circuit se instalează pe același rînd vertical. Lămpile de semnalizare se instalează sub aparatele de măsurat.

În figura 24—2 sînt reprezentate două panouri de comandă cu schemă oarbă, dintre care unul pentru o rețea de 6 kV (fig. 24—2, *a*), iar al doilea pentru un generator (fig. 24—2, *b*).

Aparatele de comandă și semnalizare sînt încadrate într-o schemă oarbă. Existența schemei oarbe pe fața panoului de comandă dă posibilitate personalului de serviciu să se orienteze mai ușor în efectuarea comenzilor de la distanță. Schema oarbă indică montarea principalelor aparate din stația de transformare.

Legăturile electrice din spatele panourilor de comandă se realizează cu ajutorul conductoarelor de cupru (1,5—2,5 mm²) izolate cu vinilin. Tot în spatele panourilor de comandă sînt montate capetele terminale ale cablurilor circuitelor secundare, care sînt trecute din podul cablurilor în camera de comandă, prin niște orificii.

De la cutiile terminale ale cablurilor secundare, conductoarele respective sînt conectate la un șir de cleme montate vertical sau orizontal. Fiecare clemă poartă indicativul circuitului respectiv. De la șirul de cleme, tot prin conductoare izolate cu vinilin, se face legătura cu aparatajul de măsurare, semnalizare și comandă.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiții trebuie să satisfacă amplasarea aparatelor de măsurat pe panourile tablourilor de comandă?
2. Cum se face legătura între cutiile terminale ale cablurilor secundare și aparatajul de măsurat?

SARCINILE PERSONALULUI TEHNIC AL CAMEREI DE COMANDĂ

Sarcina principală a personalului tehnic este să controleze în permanență, după indicațiile instrumentelor de măsurare și semnalizare, funcționarea circuitelor principale care asigură transportul și distribuția energiei electrice.

Tehnicianul de serviciu din camera de comandă trebuie să cunoască:

— prescripțiile de exploatare tehnică a stațiilor și a rețelelor (PET), precum și normele de tehnică a securității (NTS);

— instrucțiunile de serviciu despre drepturile și îndatoririle tehnicianului de serviciu din camera de comandă, ale ajutorului său și ale electricienilor de serviciu ;

— instrucțiunile de exploatare și de manevre, privind direct munca lui ; el trebuie să cunoască instrucțiunile în domeniul lucrărilor ajutorului său, regulile pentru stingerea incendiilor și prevederile regulamentului interior ;

— schema electrică de principiu a stației ;

— schema iluminatului electric, schemele de principiu ale instalațiilor de protecție ;

— schema grupului motor-generator și a bateriilor de acumulatoare ;

— caracteristicile de exploatare și amplasarea teritorială a principalului utilaj electric al stației ;

— temperaturile maxime admisibile ale transformatoarelor ;

— tot aparatajul de control și de măsurat, de semnalizare, de acționare la distanță sau de acționare manuală a întrerupătoarelor și separatoarelor ;

— rolul și amplasarea toturor sistemelor de comandă, a întrerupătoarelor și a separatoarelor ;

— schema răcirii transformatoarelor.

La preluarea schimbului, tehnicianul de serviciu din camera de comandă este obligat :

— să ia cunoștință de schema funcționării stației și de graficele de sarcină și de tensiune pentru timpul schimbului său ;

— să controleze tot aparatajul camerei de comandă și să ia cunoștință, după indicațiile instrumentelor, de sarcina transformatoarelor și a liniilor ; de asemenea, el trebuie să cunoască tensiunea de la barele de curent alternativ și continuu și să se convingă de lipsa unei puneri la pămînt în sistemul de curent continuu și alternativ, după instrumentele de control ale instalației ;

— să cunoască starea bateriei de acumulatoare (cînd a fost încărcată ultima dată și cîte elemente sînt conectate) ;

să afle cauzele și data deconectării utilajului principal ;

— să cunoască temperaturile transformatoarelor ;

— să controleze prezența și precizia notărilor în registrele camerei de comandă ;

— să ia cunoștință de toate dispozițiile noi privind lucrul în camera de comandă, în timpul care a trecut după ultimul schimb ;

— să verifice preluarea schimbului de către ajutorul tehnicianului de serviciu din camera de comandă.

Tehnicianul de serviciu din camera de comandă trebuie să comunice imediat șefului schimbului toate neregulile observate în timpul schimbului și toate anomaliile indicațiilor instrumentelor. El trebuie să urmărească ca toate aceste fapte să fie notate în jurnalul de serviciu.

În timpul epxloatării normale, îndatoririle elementare ale tehnicianului de serviciu din camera de comandă sînt următoarele :

— urmărirea instrumentelor de pe panourile de comandă, controlînd astfel funcționarea utilajului principal al stației (a transformatoarelor și a liniilor de transport) și reglajul regimului de funcționare a utilajului principal al stației, conform instrucțiunilor ;

— urmărirea temperaturii transformatoarelor care sînt în funcțiune ;

— efectuarea tuturor conectărilor și deconectărilor, conform dispozițiilor dispecerului sau inginerului de serviciu ; tehnicianul de serviciu din camera de comandă nu are voie să execute din inițiativă proprie nici un fel de manevre privind conectările și deconectările de instalații ;

— reglajul tensiunii la barele de curent continuu ;

— verificarea funcționării sistemului de semnalizare și comandă (telegraful mecanic), conform instrucțiunilor, și urmărirea funcționării instrumentelor înregistratoare ;

— controlul respectării îndatoririlor ajutorului tehnicianului de serviciu ;

— urmărirea exactității notărilor în registrul camerei de comandă.

La apariția unui deranjament în stația electrică sau în sistemul electric sau la apariția unor fenomene anormale în camera de comandă, tehnicianul de serviciu trebuie să comunice imediat aceasta dispecerului, acționînd mai departe în urma dispozițiilor acestuia.

Toate dispozițiile inginerului de serviciu al stației și ale dispecerului trebuie executate repede și exact de către tehnicianul de serviciu din camera de comandă.

În lipsa acestora, la apariția deranjamentului, tehnicianul de serviciu din camera de comandă are dreptul să efectueze din proprie inițiativă deconectările utilajului numai în cazul în care deranjamentul pune direct în pericol viața personalului sau integritatea utilajului.

Întrebări recapitulative

1. Ce obligații are tehnicianul de serviciu din camera de comandă la preluarea schimbului ? Dar în timpul exploatării ?
2. În ce condiții tehnicianul de serviciu din camera de comandă poate efectua din proprie inițiativă conectarea sau deconectarea unei instalații sau a unei părți de instalații ?

TABLOUL DE COMANDĂ. TIPURI DE PANOURI

Tabloul de comandă principal se amplasează în camera de comandă. El reprezintă punctul central de comandă pentru toate instalațiile stației. Pe acest tablou se instalează aparatele și dispozitivele care servesc pentru comanda și controlul funcționării acelor elemente ale echipamentului stației electrice, care sînt legate de distribuția energiei electrice. Printre aceste elemente se găsesc: transformatoarele, liniile, întrerupătoarele de cuplă longitudinală și transversală, precum și echipamentul din serviciile interne ale stației. Pentru comanda și controlul funcționării acestor elemente ale stației, pe tabloul principal de comandă sînt instalate aparatele de măsurat și de control. Tot aici se află aparatele pentru comanda de la distanță a întrerupătoarelor și a aparatelor de reglare. Sînt instalate aparate de semnalizare a poziției întrerupătoarelor și separatoarelor, aparate și dispozitive de semnalizare acustică și optică, de prevenire și de avarie. Tabloul de comandă principal este echipat cu mijloace de comunicație cu toate secțiile stației electrice și cu punctul de dispecer al sistemului energetic (în cazul stațiilor importante din sistemul energetic). De asemenea, aparatele de protecție prin relee sînt amplasate în încăperea tabloului principal de comandă.

Trebuie remarcat că la tabloul de comandă principal nu sînt instalate toate aparatele de măsurat și dispozitivele de comandă și de protecție prin relee, ci numai acelea dintre ele care sînt necesare pentru o exploa-

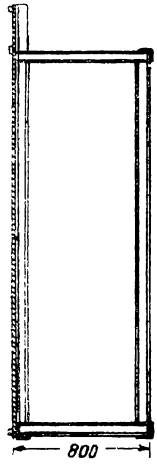


Fig. 24—3. Vedere laterală a unui panou-plan vertical.

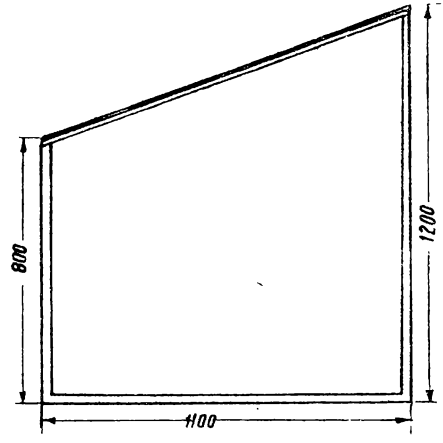


Fig. 24—4. Vedere laterală a unui panou oblic (pupitru).

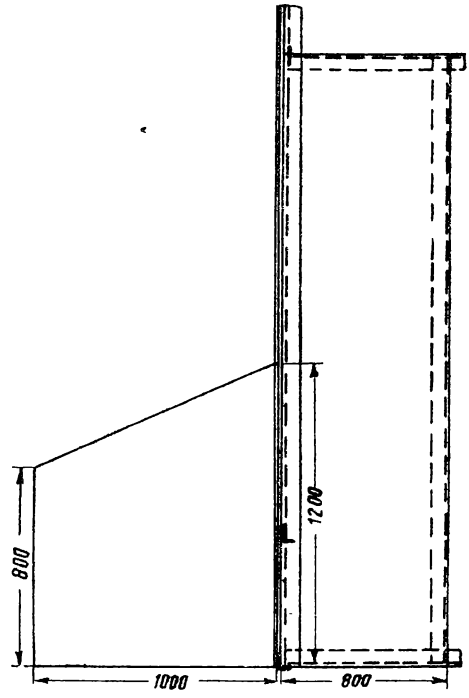


Fig. 24—5. Vedere laterală a unui panou-pupitru.

tare sigură. De exemplu, contoarele și releele de protecție ale circuitelor de servicii interne se amplasează în zona instalațiilor de distribuție ale serviciilor interne.

Tabloul de comandă principal este format din panouri separate care pot avea următoarele forme : panouri plan vertical (fig. 24—3), panou oblic, numit și pupitru (fig. 24—4) și panou pupitru combinat format dintr-un panou plan-vertical cu un panou oblic (fig. 24—5).

În funcție de scopul lor, panourile plan verticale se împart în : panouri de comandă propriu-zise, panouri pentru relee și panouri pentru contoare și aparate înregistratoare.

Întrebări recapitulative

1. Ce este tabloul de comandă principal dintr-o stație electrică și ce conține el ?
2. Unde se amplasează tabloul de comandă principal ?
3. Ce forme pot avea panourile care alcătuiesc tabloul de comandă principal ?

Partea a șasea

EXPLOATAREA ȘI ÎNTREȚINEREA STAȚIILOR ELECTRICE

Capitolul XXV

FUNCȚIONAREA ÎN PARALEL A TRANSFORMATOARELOR ȘI GENERATOARELOR

CONDIȚIILE NECESARE PENTRU PUNEREA ÎN PARALEL A GENERATOARELOR

În centralele electrice care alimentează rețele de distribuție sau consumatori locali numărul de generatoare se alege în așa fel ca energia livrată de ele să acopere în condiții optime sarcina cerută de consumatori, păstrînd în același timp și o rezervă minimă de putere. Generatoarele debitează energia pe barele generale ale centralei.

Numărul de generatoare care se leagă la bare depinde de valoarea energiei electrice cerute de consumatori.

Pentru a se putea cupla un generator pe barele generale ale centralei pe care debitează și alte generatoare, trebuie îndeplinite anumite condiții.

Pentru o mai ușoară înțelegere a fenomenelor care au loc într-un astfel de caz se va arăta mai întîi modul cuplării alternatoarelor monofazate.

1. Legarea în paralel a alternatoarelor monofazate

Legarea în paralel a alternatoarelor monofazate cere respectarea următoarelor condiții :

— Tensiunile la borne să fie egale.

Dacă tensiunile nu ar fi egale, în momentul legării alternatoarele cu tensiune mai mare ar debita brusc în alternatoarele cu tensiune mai mică, dînd naștere unor curenți de valori mari care pot provoca avarii grave.

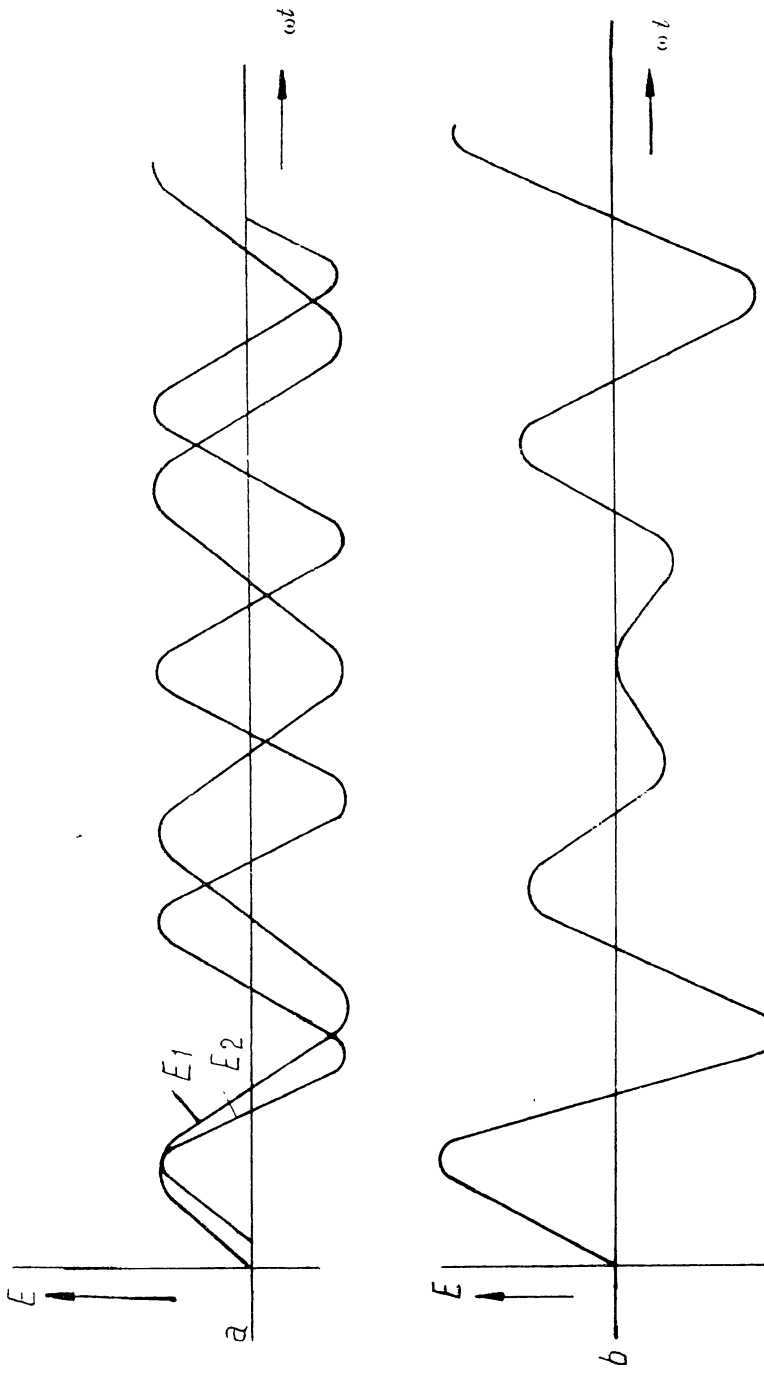


Fig. 25 1. Tensiunile electromotoare a două alternatoare cu tensiuni egale, dar de frecvențe diferite legate în paralel: *a* — tensiunile celor două alternatoare E_1 și E_2; *b* — tensiunea rezultantă prin însumarea tensiunilor E_1 și E_2

Fig. 25 - 2. Tensiunea rezultantă din compunerea a două tensiuni în opoziție de fază, având aceeași frecvență.

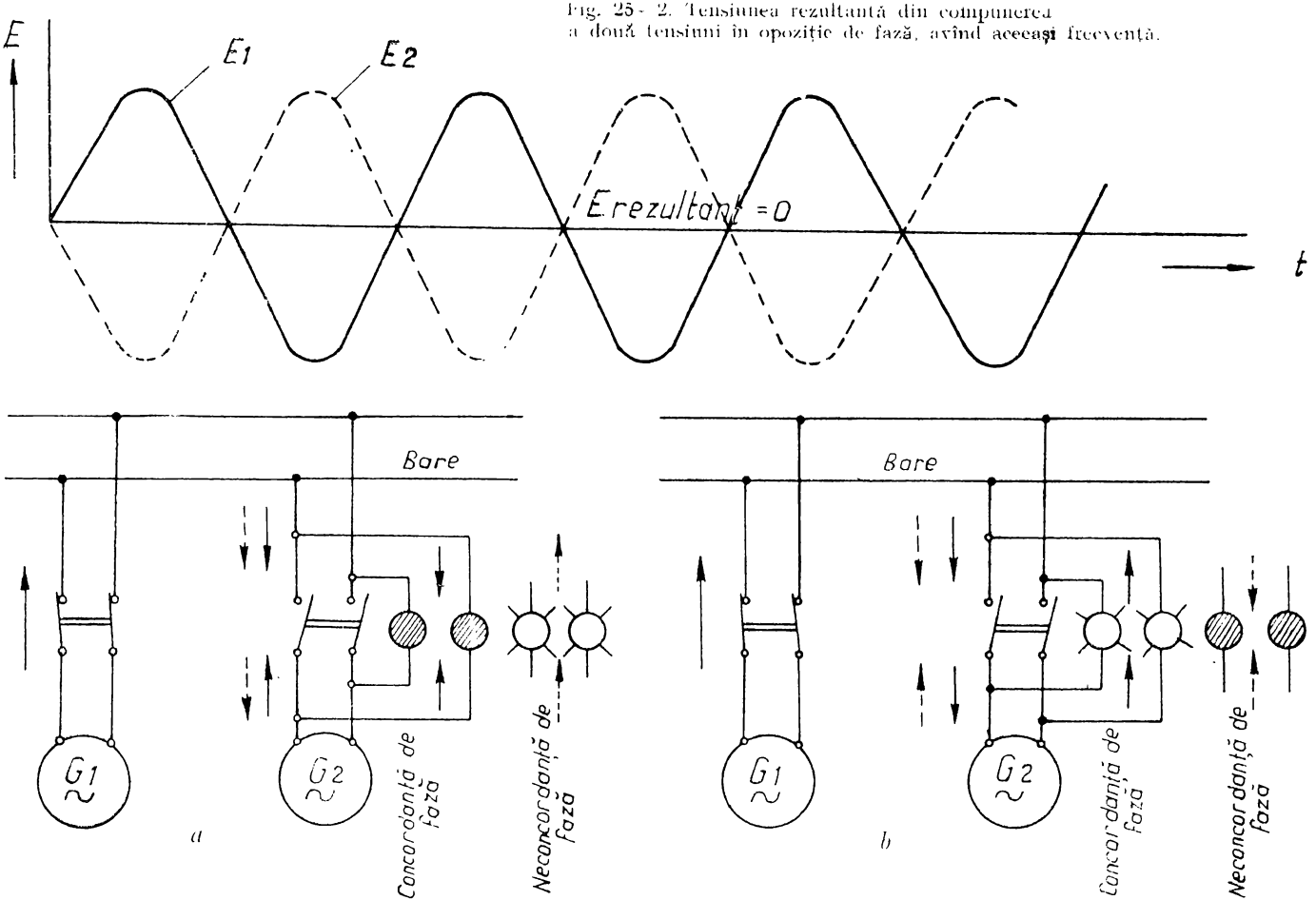


Fig. 25 3. Schema legăturilor lămpilor de fază la o mașină sincronă:
a — legături directe; *b* — legături inversate; G_1 — generator cuplat la bare; G_2 — generator care urmează a se cupla

— Frecvențele să fie egale.

Dacă tensiunile generatoarelor sînt egale, dar de frecvențe diferite, prin însumarea tensiunilor celor două generatoare se obține o tensiune rezultantă ale cărei valori pot varia între zero și dublul valorii fiecărei tensiuni (fig. 25—1, *a* și *b*).

Cele două mașini pot ajunge la un moment dat să fie supuse unei tensiuni duble față de tensiunea lor normală, fapt care poate duce la producerea unui curent mare de scurtcircuit între mașini, avînd efecte grave.

Dacă frecvența este aceeași, dar tensiunile sînt în opoziție de fază ca în figura 25—2, tensiunea electromotoare rezultată este nulă.

— Să existe concordanță de fază, adică tensiunea alternatorului care trebuie legat și tensiunea alternatorului în funcțiune să treacă amîndouă, atît prin maxim, cît și prin zero în același moment.

Dacă cele trei condiții sînt satisfăcute, alternatorul este în sincronism și în concordanță de fază cu alternatorul în funcțiune și poate fi pus în paralel.

Egalitatea tensiunilor se poate constata cu două voltmetre, iar egalitatea frecvențelor și a concordanței de fază cu ajutorul unui aparat numit sincronoscop. Sincronoscopul se poate înlocui cu două lămpi (sau cu o singură lampă), care să poată funcționa la o tensiune dublă față de tensiunea generatoarelor. Se pot conecta direct ca în figura 25—3, *a* sau încrucișate, ca în figura 25—3, *b*.

Mașinile sînt legate în serie prin intermediul celor două lămpi legate direct (fig. 25—3, *a*). Dacă mașinile au aceeași tensiune și frecvență, existînd concordanță de fază, tensiunile electromotoare sînt opuse (săgeți pline). Prin lămpi nu trece nici un curent, deci ele rămîn stinse.

Dacă între cele două mașini avînd aceeași tensiune și frecvență, tensiunile se leagă în opoziție de fază, tensiunile electromotoare se însumează (săgeți punctate); lămpile fiind supuse la o tensiune dublă se vor ilumina puternic.

Deoarece turațiile nu sînt constante, stările de mai sus nu durează mult. Astfel lămpile aprinse devin din ce în ce mai puțin luminoase pînă se sting, aprinzîndu-se apoi, treptat, din nou. Acest joc de lumină este cu atît mai rar, cu cît cele două mașini sînt mai aproape de sincronism.

Dacă lămpile rămîn stinse mai mult timp înseamnă că sînt create condițiile de sincronism și întrerupătorul se poate închide. Închiderea întrerupătorului cînd lămpile sînt aprinse nu este permisă, deoarece aceasta corespunde unui scurtcircuit veritabil.

Jocul luminos al lămpilor se poate urmări observînd figura 25—1,*a*, reprezentînd variația tensiunilor electromotoare a două alternatoare E_1 și E_2 de frecvențe diferite.

Suma celor două tensiuni electromotoare trece cînd prin maxim, cînd prin zero (fig. 25—1, *b*); de aceea lămpile se aprind, devin din ce în ce mai luminoase, apoi treptat luminozitatea scade pînă la stingere, jocul continuînd alternativ.

Această metodă de determinare a condițiilor optime de cuplare a generatoarelor poartă numele de *cuplaj prin stingere.*

Conectînd lămpile electrice cu care se controlează condițiile de sincronism, ca în figura 25—3, *b*, se constată că condiția de sincronism corespunde cazului cînd lămpile sînt aprinse. Din această cauză, metoda poartă numele de *cuplaj prin aprindere.*

Dacă în cazul cuplajelor prin stingere, în locul lămpilor de fază se folosește un voltmetru de fază cu tensiunea dublă, cînd acesta arată zero mașinile sînt în concordanță de fază, ceea ce corespunde lămpii stinse; cînd aceasta arată tensiunea maximă, mașinile sînt în opoziție de fază, ceea ce corespunde lămpii aprinse.

2. Legarea în paralel a alternatoarelor trifazate

Cele stabilite la alternatoarele monofazate rămîn valabile și la alternatoarele trifazate. Aici însă mai trebuie respectată și condiția ca cele două alternatoare să aibă aceeași succesiune a fazelor. Cînd se cuplează alternatorul la bare, trebuie legate între ele fazele care au aceeași ordine de succesiune.

Această operație se face o singură dată, și anume după montarea mașinii, la prima ei punere în funcțiune.

3. Punerea în paralel a două sisteme de bare

În exploatare sînt cazuri cînd sîntem nevoiți să punem în paralel două sisteme de bare pentru asigurarea alimentării continue a consumatorilor, cînd unul din sisteme s-a avariat. În acest caz se efectuează un transfer de energie de pe un sistem de bare la celălalt.

Pentru punerea în paralel a două sisteme de bare trebuie să se respecte aceleași condiții care s-au arătat la legarea în paralel a alternatoarelor trifazate.

Întrebări recapitulative

1. Ce condiţii trebuie îndeplinite la punerea în paralel a alternatoarelor monofazate?
2. Care sînt metodele de verificare a sincronismului?
3. Ce condiţii suplimentare trebuie avute în vedere la punerea în paralel a alternatoarelor trifazate faţă de cele monofazate?

MANEVRELE DE PUNERE ÎN PARALEL A ALTERNATOARELOR

Punerea în paralel a alternatoarelor se face în felul următor:

— Se pune în mişcare alternatorul care trebuie pus în paralel prin pornirea maşinii primare care îl antrenează păstrînd întrerupătorul deschis.

— Se aduce alternatorul la turaţia normală, urmărind indicaţiile tahometrului maşinii primare.

— Se închide întrerupătorul de cîmp şi se măreşte excitaţia alternatorului, pînă cînd tensiunea de bornele acestuia este suficient de mare pentru ca frecvenţmetrele să indice.

Se pot folosi două frecvenţmetre sau un frecvenţmetru cu două echipaje din care unul să fie legat la bare, iar celălalt la bornele alternatorului care urmează a se cupla.

— Se măreşte curentul de excitaţie pînă cînd tensiunea alternatorului devine egală cu tensiunea barelor. Pentru aceasta se acţionează asupra reostatului de excitaţie.

Citirea tensiunilor se face la două voltmetre aşezate alăturat sau se poate folosi un singur voltmetru cu două echipaje dintre care unul este legat la bare, iar celălalt echipaj la bornele alternatorului. Cînd tensiunile devin egale acele indicatoare se suprapun.

— Se verifică condiţiile de punere în paralel prin una din metodele arătate.

Lămpile se pot monta în trei feluri, cărora le corespund: cuplaj prin stingere, cuplaj prin aprindere sau cuplaj mixt (fig. 25—4, *a*, *b*, *c*).

Dacă cele trei lămpi se aşază în vîrfurile unui triunghi echilateral se constată că lămpile se aprind pe rînd într-un sens (*1*, *2*, *3*), atunci cînd frecvenţa alternatorului este mai mare decît frecvenţa barelor şi în sens invers (*3*, *2*, *1*), atunci cînd frecvenţa alternatorului este mai mică decît a barelor.

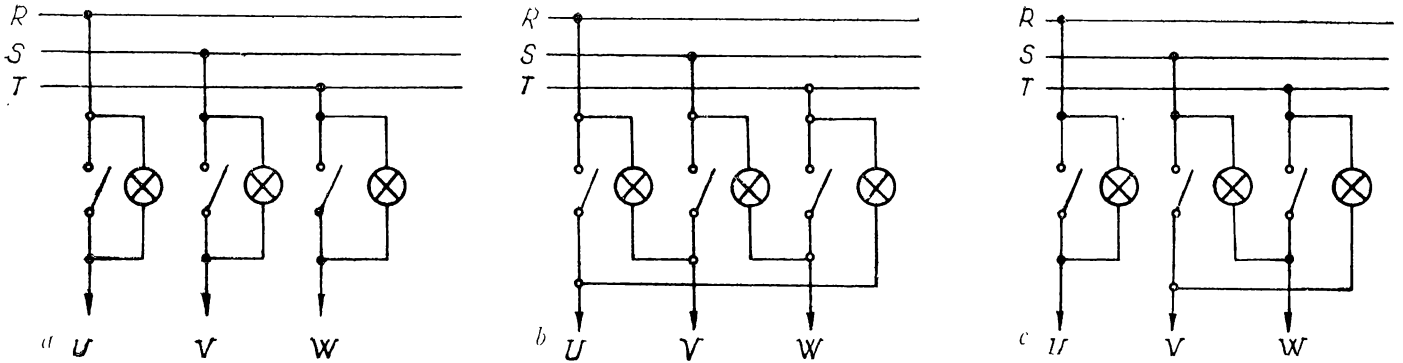


Fig. 25 4. Legarea lămpilor de fază la mașinile sincrone trifazate, pentru cuplaj :
a — prin stingere ; *b* — prin aprindere ; *c* — mixt

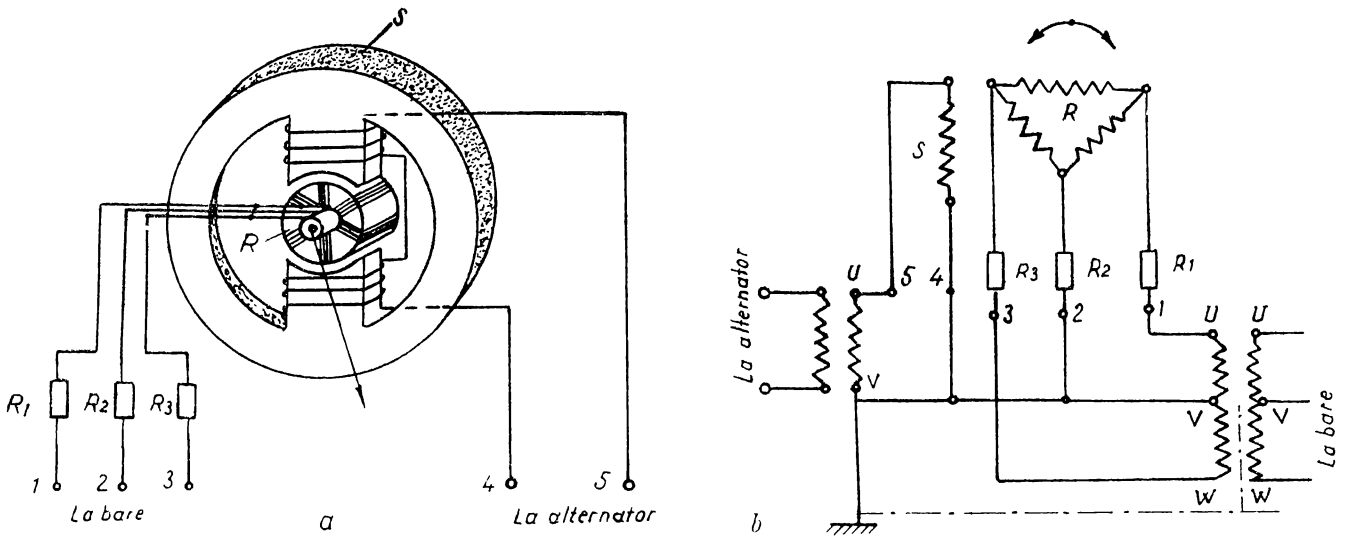


Fig. 25 — 5. Sincronoscop :
a — sincronoscop cu ac învîrtitor ; *b* — montajul sincronoscopului trifazat cu ac învîrtitor pe transformator de tensiune

Aprinderea succesivă a lămpilor se aseamănă cu un foc învîrtitor. Viteza cu care această lumină se învîrteşte este cu atît mai mică, cu cît turaţia alternatorului este mai aproape de sincronism.

În caz de sincronism focul învîrtitor se opreşte pe loc şi cuplarea se va face atunci cînd lampa montată între fazele corespunzătoare rămîne stinsă mai mult timp.

Sincronoscopul cu foc învîrtitor se întîlneşte în centralele vechi, în centralele noi se folosesc sincronoscoapele cu ac învîrtitor.

Acesta se compune dintr-un stator S prevăzut cu doi poli. Pe rotorul R se găseşte o înfăşurare trifazată. Alimentarea statorului se face de la două faze ale alternatorului care urmează a se lega la bare, iar înfăşurarea trifazată se alimentează din bare prin trei rezistenţe de valoare egală R_1, R_2, R_3 (fig. 25—5, *a*, *b*).

Acul se învîrteşte într-un sens sau altul, după cum alternatorul se învîrteşte mai repede sau mai încet decît turaţia de sincronism. La sincronism, acul rămîne fix în poziţie verticală, indicată printr-un reper, sau trece foarte încet prin faţa lui.

Întrerupătorul prin care se cuplează generatorul se închide cînd arcul trece prin dreptul reperului.

Pentru a evita situaţia ca acul să se rotească prea repede sincronoscopul nu se leagă la bare decît numai după ce maşina este aproape de sincronism. Aceasta se poate constata fie cu ajutorul frecvenţmetrului cu două echipaje, fie cu lămpile de sincronizare. Cînd avem de-a face cu tensiuni înalte sincronoscopul se leagă la alternator şi bare prin intermediul transformatoarelor de măsură.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt fazele care preced punerea în paralel a alternatoarelor?
2. Din ce este alcătuit un sincronoscop şi la ce serveşte el?
3. Cînd se recomandă a se conecta sincronoscopul şi cum se determină aceste condiţii propice?

SCHEMA DE SINCRONIZARE ÎN CAZUL A DOUĂ SISTEME DE BARE

Există două feluri de sincronizare: sincronizare precisă sau completă şi sincronizare aproximativă sau autosincronizare.

1. Sincronizarea precisă

În figura 25—6 este reprezentată schema de sincronizare pentru o instalație cu dublu sistem de bare care trebuie puse în sincronism prin întrerupătorul de cuplă *I*, precum și cuplarea la sincronism a generatoarelor G_1, G_2.

Aparatele sînt legate la barele de sincronizare, la care tensiunea elementelor care se sincronizează este adusă printr-o priză cu patru contacte. Trei dintre contacte servesc la legarea barelor de sincronizare pe care sînt montate aparatele la barele generale care urmează a se cupla. Al patrulea contact este inclus în circuitul de anclanșare al întrerupătorului. Prin închiderea acestui contact, la introducerea fișei cu patru contacte se închide circuitul de conectare al întrerupătorului.

Pentru a se asigura o sincronizare corectă cu acel sistem de bare la care trebuie conectat generatorul, tensiunea de la transformatoarele de tensiune instalate la barele generale este adusă la aparate prin intermediul contactelor auxiliare ale separatoarelor de bare.

Atît timp cît instalațiile funcționează normal, punerea în sincronism nu constituie o problemă pentru un personal cu experiență în muncă. Cînd însă în sistem există o avarie, egalizarea frecvențelor constituie o problemă complicată. De aceea s-a căutat ca operațiunea de punere în paralel să se efectueze prin folosirea instalațiilor cu sincronoscoape automate.

O punere în paralel în condițiile unei sincronizări incorecte duce la avarii grave în instalație, prin arderea generatoarelor, chiar în cazul folosirii sincronoscoapelor automate.

2. Sincronizarea aproximativă sau autosincronizarea

La sincronizarea aproximativă generatorul se conectează la bare în stare neexcitată sau slab excitat (10—20% din excitația nominală), la o diferență de turație de $\pm$ 1—5%. După conectare, excitația se mărește la valoarea normală.

După acest procedeu operațiile decurg în succesiunea următoare :

— Generatorul neexcitat trebuie adus pînă la o viteză apropiată de sincronism, înfășurarea rotorului în acest timp trebuie să fie închisă pe reactanța de stingere a cîmpului. Maneta reostatului de cîmp trebuie să fie pe poziția mersului în gol.

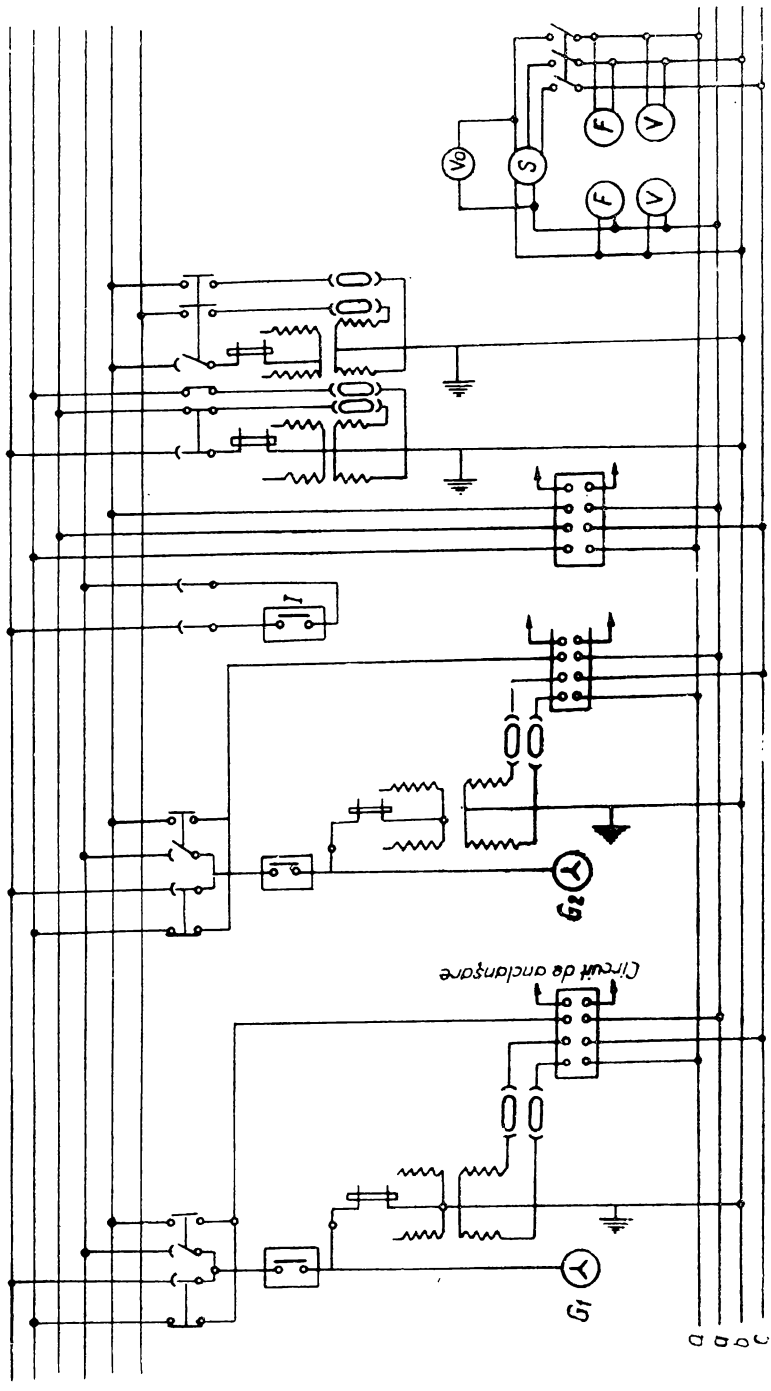


Fig. 25 6. Schema de sincronizare a două sisteme de bare.

Cînd diferența de turație este de ± 2—3% generatorul se conectează la bare și se pornește excitația, prin conectarea automatului de stingere a cîmpului. Simultan se pune în funcțiune și regulatorul de tensiune.

Intrarea în sincronism a generatorului este însoțită de o smucitură a rotorului în sensul de rotație a acestuia sau invers cunoscută sub denumirea de șoc de intrare în sincronism. Totul este ca acest șoc să fie minim, ceea ce se obține cînd turația generatorului este cît mai apropiată de turația sincronă.

După intrarea în sincronism a generatorului el poate fi pus în sarcină.

O perfecționare a acestei metode este autosincronizarea automată, în care un releu diferențial de frecvență comandă singur toate operațiile mai sus arătate.

Întrebări recapitulative

1. Cum se realizează sincronizarea precisă și cu ce se efectuează ea?
2. Care sînt particularitățile autosincronizării?
3. Ce perfecționare i s-a adus metodei de autosincronizare?

CONDIȚIILE PENTRU FUNCȚIONAREA ÎN PARALEL A TRANSFORMATOARELOR

Pentru funcționarea în paralel a transformatoarelor, două sau mai multe, se înțelege funcționarea cu bobinajele lor primare și secundare legate în paralel. Două transformatoare nu sînt considerate legate paralel dacă bobinajele primare sînt legate în paralel, însă cele secundare sînt conectate pe bare separate. Legarea în paralel este determinată, în majoritatea cazurilor, de cerința de putere pe care un singur transformator n-ar fi în stare să o asigure. Cînd puterea cerută are valoarea maximă se pun toate transformatoarele în paralel, iar cînd necesarul de putere scade, se scoate pe rînd cîte un transformator, pentru a se economisi pierderile de putere activă și reactivă în transformatoare.

Pentru a fi posibilă funcționarea în paralel a transformatoarelor, trebuie îndeplinite condițiile de tensiune, cădere de tensiune în sarcină, tensiuni de scurtcircuit, grupă și clasă de conexiuni și puteri nominale.

Tensiunile nominale primare și secundare ale tuturor transformatoarelor trebuie să fie egale, adică raporturile de transformare ale acestora să

fie aceleaşi. Dacă această condiţie nu este îndeplinită în bobinaje, atît în primar, cît şi în secundar se produc curenţi de circulaţie interioară, care încarcă şi încălzesc transformatoarele, reducîndu-le astfel puterea debitată. Se admit unele toleranţe, şi anume : diferenţele dintre raporturile de transformare să nu fie mai mari decît 1%.

Tensiunile de scurtcircuit trebuie să fie egale. Se poate arăta că în cazul legării în paralel a două sau mai multor transformatoare cu tensiuni de scurtcircuit diferite, sarcinile pe aceste transformatoare nu se repartizează uniform. Transformatoarele cu tensiuni de scurtcircuit mai mici preiau o sarcină mai mare comparativ cu puterea lor. Aceasta duce la încărcarea la limită a transformatoarelor cu tensiuni de scurtcircuit mici, în timp ce transformatoarele cu tensiuni de scurtcircuit mari sînt prea puţin încărcate.

Rezultă de aici condiţia : pentru ca două transformatoare să se încarce proporţional cu puterea lor nominală, este necesar ca tensiunile lor de scurtcircuit să fie egale sau diferite, una faţă de alta, cu maximum 10%.

Clasa de conexiuni şi grupa de conexiuni trebuie să fie aceleaşi, pentru că numai în felul acesta tensiunile secundare vor putea fi în fază. Dacă transformatoarele aparţin unor grupe diferite, tensiunile secundare de acelaşi nume ale celor două transformatoare sînt decalate ; din combinarea celor două tensiuni rezultă o tensiune care produce un curent de circulaţie interioară între cele două transformatoare. Acesta poate fi de cîteva ori mai mare decît curentul nominal şi deci periculos.

Prin *clasă de conexiuni* se înţelege modul de legare a bobinelor transformatoarelor trifazate, sensul de bobinare şi modul de marcare a bornelor.

De clasa de conexiuni trebuie să se ţină seama la funcţionarea în paralel a transformatoarelor.

Clasele de conexiuni sînt standardizate prin STAS 1 704—50.

Conexiunile sînt simbolizate prin două litere şi un număr, avînd următoarele semnificaţii :

— litera mare indică conexiunea bobinajelor de înaltă tensiune ;

— litera mică indică conexiunea bobinajelor de joasă tensiune.

Se notează : Y şi y — conexiunea stea ; D şi d — conexiunea triunghi ; Z şi z — conexiunea zigzag.

Numărul multiplicat cu 30°, indică unghiul de defazaj dintre tensiunea între două borne de înaltă tensiune şi tensiunea între bornele corespunzătoare de joasă tensiune.

Două conexiuni fac parte din aceeaşi grupă atunci cînd simbolurile lor conţin acelaşi număr.

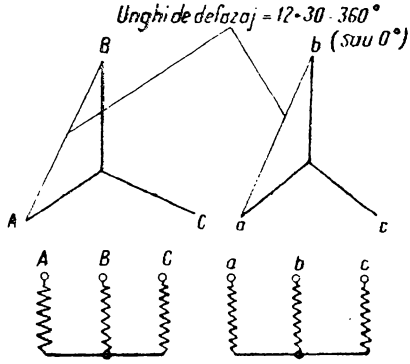


Fig. 25—7. Schema de conexiuni a unui transformator Yy—12.

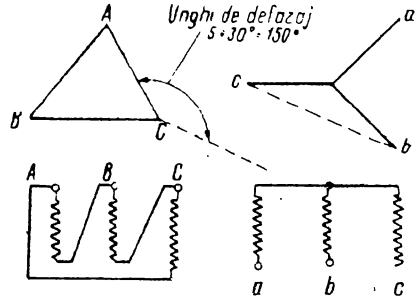


Fig. 25—8. Schema de conexiuni a unui transformator Dy—5.

Transformator cu conexiunea Yy — 12 înseamnă :
— bobinajul primar conectat în stea Y ;
— bobinajul secundar conectat în stea y ;
— unghiul de defazaj dintre tensiuni $12 \cdot 30° = 360°$.
Schema de conexiuni este dată în figura 25—7.
Transformator cu conexiunea Dy—5 înseamnă :
— bobinajul primar conectat în triunghi D ;
— bobinajul secundar conectat în stea y ;
— unghiul de defazaj dintre tensiuni $5 \cdot 30° = 150°$.
Schema de conexiuni este dată în figura 25—8.

Raportul între puterile transformatoarelor care se leagă în paralel trebuie să nu fie mai mic decît 1/3, pentru ca ele să poată funcționa în condiții cît mai apropiate, ca putere debitată și tensiuni secundare.

În afară de aceste condiții dependente de datele constructive ale transformatoarelor trebuie să se controleze ca legăturile să fie făcute atît în secundar, cît și în primar, între bornele notate la fel. Pentru verificarea legăturilor la legarea în paralel a transformatoarelor cu tensiune joasă în secundar se procedează în felul următor : se leagă întîi bornele primare ale transformatoarelor, apoi secundarul unuia dintre transformatoare. La celălalt transformator se va lega una din borne direct la rețea, iar altă bornă se leagă în serie cu un voltmetru, care să poată măsura o tensiune de două ori mai mare decît tensiunea rețelei. Schema legării pentru un sistem monofazat se vede în figura 25—9.

Dacă voltmetrul nu arată nimic se poate lega definitiv și această bornă la rețea. Dacă voltmetrul arată o tensiune dublă tensiunii rețelei, leg-

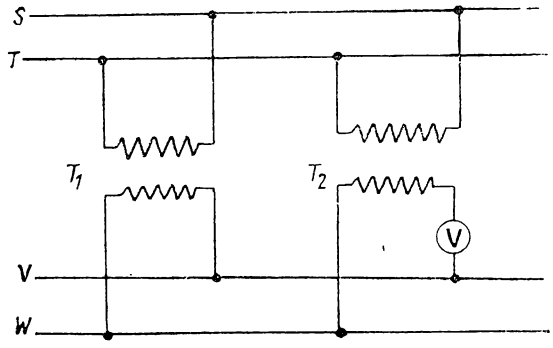


Fig. 25—9. Schema de verificare a legăturilor corecte a transformatoarelor legate în paralel.

turile nu sînt bine făcute, deci trebuie inversate între ele. În locul voltmetrului se poate folosi un bec electric. Dacă becul rămîne stins legăturile sînt bune, iar dacă se aprinde legăturile trebuie schimbate.

La transformatoarele cu tensiune înaltă în secundar se procedează analog, însă voltmetrul (becul) se racordează prin intermediul transformatoarelor de tensiune. Secundarul transformatorului de tensiune se leagă în acest caz printr-un fir la pămînt. Mai des, în instalaţii cu tensiunea pînă la 35 kV se folosesc dispozitive speciale pentru identificare, avînd o lampă cu neon montată pe prăjini izolante.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt condiţiile necesare pentru punerea în paralel a transformatoarelor?
2. Ce se înţelege prin clasă de conexiuni şi ce importanţă are clasa de conexiuni?
3. Cum se face verificarea legăturilor la punerea în paralel a transformatoarelor?

SUPRAÎNCĂRCĂRI ADMISIBILE PENTRU GENERATOARELE SINCRONE ŞI TRANSFORMATOARE

1. Suprasarcinile generatoarelor sincrone

Sînt cazuri cînd generatoarele trebuie să facă faţă cerinţelor de consum, lucrînd supraîncărcate. Supraîncărcarea însă nu poate depăşi anumite limite.

Valoarea sarcinii admisibile de durată a generatoarelor depinde de:

— temperatura mediului înconjurător sau a agentului de răcire;

— temperatura admisibilă de durată a înfășurărilor statorice și rotorice, precum și a oțelului statoric;

— factorul de putere cu care funcționează generatorul.

În general generatoarele din centralele electrice sînt dimensionate pentru debitarea puterii nominale la o temperatură de 35—40°C a aerului de răcire intrat. În acest caz încălzirea aerului în generator este de cel mult 20—30°C, în funcție de tipul generatorului.

Cu cît temperatura aerului de răcire sau a agentului de răcire la intrare în generator este mai mică, cu atît condițiile de răcire ale generatorului sînt mai bune și se poate mări puterea cerută de la generator.

Dimpotrivă, dacă temperatura aerului la intrare în generator este mai mare de 35—40°C, răcirea se face în condiții mai anevoioase și puterea debitată de generator trebuie micșorată.

Valorile sarcinilor admisibile ale generatoarelor, la diferite temperaturi ale aerului care intră, sînt indicate în cadrul instrucțiunilor emise de centrală.

Limitele de încălzire admisibile pentru fiecare tip de generator nu pot, în general, să depășească 100—120°C pentru înfășurările statorice și 105—140°C pentru înfășurările rotorice. Temperatura oțelului la locul unde este situată înfășurarea nu trebuie să depășească temperatura admisibilă pentru această înfășurare.

Temperatura înfășurărilor și a oțelului mașinii se determină prin termocuple amplaste în interiorul înfășurărilor și în fundul crestăturilor.

Temperatura de încălzire a înfășurărilor rotorice se stabilește prin metode de variație a rezistenței de încălzire.

Păstrarea diverselor părți ale mașinii în anumite limite de temperatură este de o importanță deosebită.

Izolația generatorului se deteriorează cu timpul, adică îmbătrînește. Cu cît temperatura izolației este mai ridicată, cu atît aceasta se distruge mai repede și cu atît durata ei de serviciu este mai mică (pentru fiecare 8 grade cu care se funcționează peste temperatura admisibilă, durata de viață a izolației se înjumătățește).

O importanță în încărcarea generatorului o are valoarea factorului de putere sub care funcționează. Cu cît factorul de putere este mai mic, cu atît curentul de excitație este mai mare. Dacă factorul de putere este mai mic decît cel nominal generatorul nu este folosit la capacitatea sa nominală.

Tabela 25—1

Multiplul curentului în raport cu cel nominal	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	2,5
Durata suprasarcinii în minute	60	15	6	5	4	3	2	1

În caz de avarii în sistemul energetic din care face parte generatorul, se admit suprasarcini de scurtă durată a generatorului faţă de curentul nominal al statorului şi al rotorului, indiferent de temperatura mediului de răcire, după cum rezultă din tabela 25—1.

Aceste valori sînt valabile în cazul cînd nu sînt date alte indicaţii din partea fabricii constructoare.

2. Supraîncărcările transformatoarelor

În condiţii de exploatare normale, sarcina transformatoarelor este în cea mai mare parte a timpului sub cea nominală. Aceasta reduce îmbătrînirea izolaţiei şi deci măreşte durata de utilizare a transformatorului. De aceea, în exploatare se admite funcţionarea transformatorului cu o anumită depăşire a sarcinii nominale, deci supraîncărcarea lui, numai în cazuri speciale (de avarii), pentru fiecare transformator în parte, ţinîndu-se cont de regimul de funcţionare şi de locul lui de amplasare.

Transformatoarele instalate în interiorul clădirilor admit supraîncărcări relativ mici, deoarece condiţiile de răcire sînt mai neprielnice.

Supraîncărcările se admit indiferent de temperatura mediului ambiant, cu condiţia ca această temperatură să nu depăşească +35°C.

La funcţionarea transformatoarelor cu supraîncărcări normale se constată că uzura izolaţiei este totuşi mai mică decît uzura naturală care ar exista în cazul unei sarcini nominale constante în decursul a 24 de ore. În consecinţă, la suprasarcini normale, nu numai că se păstrează durata normală de serviciu a transformatorului, dar mai rămîne şi o rezervă suficientă cu privire la izolaţia lui, rezervă care poate fi utilizată pentru alte suprasarcini neprevăzute (accidentale) în planul de exploatare. Acestea pot fi, de exemplu, suprasarcinile accidentale produse la ieşirea din paralel a unuia dintre transformatoarele în funcţiune, înainte de punerea în funcţiune a transformatorului de rezervă etc.

Suprasarcinile sînt admise indiferent de sarcina anterioară sau de condițiile de temperatură, dar nu mai mult de 30% timp de 2 ore, 60% timp de 30 de minute, 75% timp de 15 minute, 100% timp de 7,5 minute, 140% timp de 3,5 minute și 200% timp de 1,5 minute.

Întrebări recapitulative

1. De cine depinde valoarea sarcinii admisibile de durată a generatoarelor?
2. Care sînt limitele admisibile de temperatură a diferitelor părți ale unui generator?
3. Care sînt suprasarcinile admisibile la transformatoare și pentru ce durată?

Capitolul XXVI

FUNCȚIONAREA STAȚIILOR ELECTRICE ÎN REGIM NORMAL

EXPLOATAREA TEHNICĂ A INSTALAȚIILOR

Instalațiile electrice trebuie exploatate respectînd anumite reguli tehnice. Nerespectarea regulilor de exploatare tehnică conduce la avarii grave și consecințe economice defavorabile.

Principalele sarcini care revin personalului tehnic din instalațiile electrice sînt:

— asigurarea producerii energiei în funcție de cerințele consumatorilor;

— asigurarea funcționării sigure și economice a instalațiilor;

— menținerea calității normale a energiei produse (tensiune, frecvență);

— menținerea instalațiilor și a echipamentelor în stare de funcționare și evitarea degradării și deteriorării acestora;

— controlul instalațiilor electroenergetice de la consumatori, al modului în care aceștia le exploatează, acordînd asistență tehnică pentru funcționarea corectă a acestor instalații.

Pentru a se ajunge la realizarea sarcinilor amintite anterior trebuie îndeplinite următoarele condiții:

— cunoașterea perfectă a instalațiilor și a echipamentelor, precum și a importanței acestora;

— stabilirea regimului optim de exploatare a utilajului;

— întreţinerea utilajului instalaţiilor şi a curăţeniei instalaţiilor;

— respectarea ciclurilor de reparaţii planificate şi repararea conştiincioasă a echipamentului;

— respectarea măsurilor preventive de eliminare a defectelor.

Dacă sînt respectate condiţiile amintite se asigură funcţionarea normală a instalaţiilor.

MANEVRE ÎN STAŢIILE ELECTRICE

Prin manevre se înţelege conectarea şi deconectarea liniilor de transport de energie electrică linii aeriene sau cabluri, transformatoare, motoare, precum şi legarea lor în cadrul instalaţiilor de distribuţie, prin intermediul aparatelor de comutaţie, întrerupătoare şi separatoare.

Executarea greşită, neglijenţa în efectuarea manevrelor şi necunoaşterea sau încălcarea dispoziţiilor din „Normele de tehnica securităţii" sau din „Prescripţiile de exploatare tehnică" pot conduce la erori grave, care ameninţă sănătatea şi viaţa oamenilor şi integritatea echipamentului.

Deconectarea oricărui circuit sub sarcină de la barele instalaţiei este admisă numai cu ajutorul întrerupătorului. Comanda acestuia se face numai cu ajutorul dispozitivelor de acţionare sau de la distanţă. Numai după declanşarea întrerupătorului, adică după ce utilajul a fost scos de sub sarcină, se pot deschide şi separatoarele.

Conectarea circuitelor se face în ordine inversă, adică mai întîi se închid separatoarele şi numai după aceea se anclanşează întrerupătorul.

La efectuarea operaţiilor de închidere trebuie să se verifice vizual dacă toate cuţitele separatorului au intrat strîns în contactele fixe sau, în cazul deschiderii separatoarelor, dacă toate cuţitele s-au deschis normal.

Acţionarea manuală a separatoarelor trebuie făcută cu atenţie, fără şocuri şi forţări.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele sarcini ale personalului de exploatare în ceea ce priveşte asigurarea cu energie electrică a consumatorilor?
2. Ce se înţelege prin manevre în staţii?

CONECTAREA ȘI DECONECTAREA LINIILOR ȘI A TRANSFORMATOARELOR DE PUTERE

1. Conectarea și deconectarea liniilor

La deconectarea unei linii, prima operație este declanșarea întrerupătorului de linie. Operațiile de efectuat se pot urmări în figura 26—1. După deschiderea întrerupătorului se deschid separatoarele, mai întîi cel de linie și apoi cel de bare. Dacă din cauza unui defect sau din greșeală întrerupătorul a rămas anclanșat, deschiderea separatoarelor se face sub sarcină, ceea ce poate produce o avarie în stație.

Conectarea liniei se efectuează în ordine inversă, și anume: întîi se închide separatorul de bare, apoi separatorul de linie și în cele din urmă întrerupătorul.

2. Conectarea și deconectarea transformatoarelor de putere

Schema de principiu monofilară a legăturilor unui transformator coborîtor a cărui conectare și deconectare se va urmări este dată în figura 26—2.

Înainte de a se conecta la bare, transformatorului i se face în mod obligatoriu o verificare generală. Dacă a fost în reparație se verifică bor-

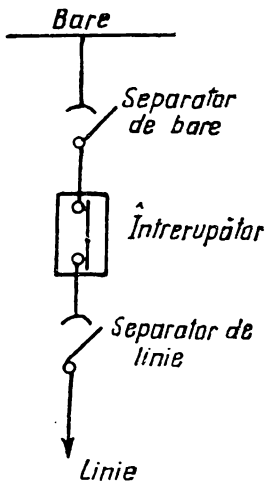


Fig. 26—1. Schema monofilară a legăturii la bare a unei linii.

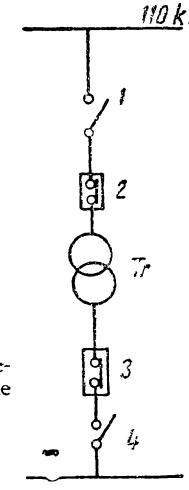


Fig. 26—2. Schema monofilară a conectării la bare a unui transformator de putere.

nele pe partea de joasă şi de înaltă tensiune, pentru a nu fi scurtcircuitate. Apoi se măsoară rezistenţa izolaţiei bobinajelor cu ajutorul megohmetrului şi se verifică (cu separatoarele decuplate) funcţionarea dispozitivului de acţionare a întrerupătorului, cuplîndu-l şi decuplîndu-l manual o singură dată. Se verifică apoi declanşarea prin relee a întrerupătorului.

Ordinea de conectare este următoarea: se cuplează separatorul de bare *1* pe partea de înaltă tensiune (sub tensiune), apoi întrerupătorul *2* de pe aceeaşi parte; prin cuplarea întrerupătorului, bobinajul primar al transformatorului este pus sub tensiune; apoi se cuplează separatorul *4* de pe partea de tensiune mai joasă şi în final întrerupătorul *3* de pe aceeaşi parte.

Această ordine se impune deoarece la conectarea transformatorului apare un şoc de curent de magnetizare. La conectarea în sarcină poată să se producă supraîncărcarea transformatorului care funcţionează în paralel.

Întrebări recapitulative

1. În ce ordine se execută diferitele operaţii pe care le comportă conectarea sau deconectarea unei linii?
2. Cum se efectuează conectarea şi deconectarea transformatoarelor de putere?

DIVERSE MANEVRE ÎN STAŢII

1. Comutarea liniilor şi a transformatoarelor de pe un sistem de bare pe alt sistem de bare

La instalaţiile de distribuţie cu două sisteme de bare, în mod normal, un sistem se află în funcţiune, în timp ce al doilea sistem se află în rezervă (fig. 26—3).

Ambele sisteme de bare se pot interconecta prin întrerupătorul de cuplă transversală. Pentru intrarea primului sistem de bare în reparaţie este necesar ca acest sistem să fie scos de sub tensiune. În acest scop transformatorul şi liniile se trec pe al doilea sistem de bare. O astfel de operaţie se efectuează fără întreruperea alimentării consumatorilor, în urmă-

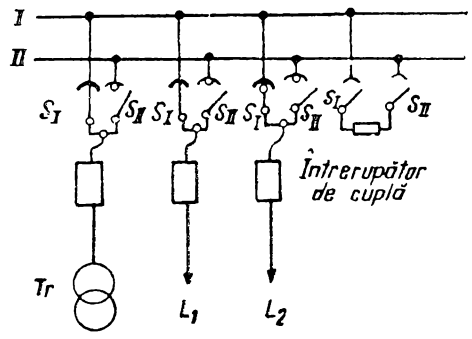


Fig. 26—3. Comutarea circuitelor de pe sistemul de bare de lucru pe sistemul de rezervă.

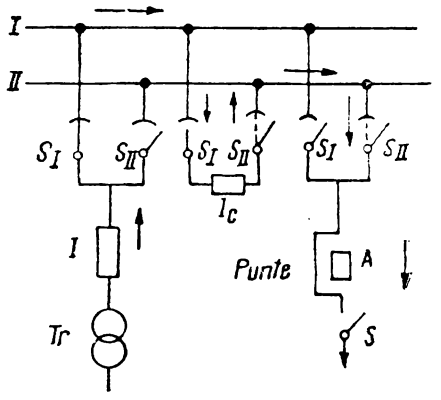


Fig. 26—4. Schema pentru manevrarea de înlocuire a unui întrerupător cu întrerupătorul de cuplă.

toarea succesiune: se închid separatoarele de bare S_I și S_{II} ale întrerupătorului de cuplă și apoi întrerupătorul de cuplă. Prin aceasta, barele sistemului al doilea se pun sub tensiune. În continuare se închid separatoarele de bare S_{II} ale liniilor și separatorul transformatorului, la sistemul II de bare, și se deschid separatoarele S_I de la primul sistem de bare. După trecerea sarcinii pe al doilea sistem de bare se deschide întrerupătorul de cuplă, barele sistemului I fiind scoase de sub tensiune. Cu aceasta operațiile sînt terminate. Pentru a nu se produce declanșarea întrerupătorului de cuplă la suprasarcină, protecția acestuia se blochează în timpul manevrelor. În scopul unei alimentări mai sigure a consumatorilor, instalațiile cu un singur sistem de bare se secționează într-o cuplă longitudinală. Secționarea barelor dă posibilitatea reparării lor, deconectînd succesiv fiecare secție separat. Întrerupătorul de cuplă se poate deschide chiar în sarcină.

2. Folosirea întrerupătorului de cuplă în locul întrerupătorului unei linii

În instalațiile cu două sisteme de bare colectoare, dacă întrerupătorul unei linii s-a defectat sau în cazul reparațiilor, el poate fi înlocuit cu întrerupătorul de cuplă transversală (fig. 26—4)

Înlocuirea se face în felul următor: se decuplează întrerupătorul defect și separatoarele S_I și S_{II} ale liniei. Se desfac legăturile la întrerupătorul A, executîndu-se o punte de legătură (ca în figură), care ocolește între-

rupătorul. Se închide apoi separatorul S_{II}, legîndu-se linia pe al doilea sistem de bare. Acest lucru se face fără pericol, al doilea sistem de bare fiind fără tensiune. Se închide apoi întrerupătorul de cuplă. Circuitul se închide de la transformatorul T_2 prin cuplă și separatorul S_{II} la linia de plecare.

Întrebări recapitulative

1. Cum se execută comutarea liniilor și a transformatoarelor de pe un sistem de bare pe altul și cînd este necesar acest lucru?
2. Cum se folosește întrerupătorul de cuplă în locul întrerupătorului unei linii?

ORGANIZAREA EFECTUĂRII MANEVRELOR

Manevrele se fac la dispoziția organului care supraveghează instalația. În instalațiile subordonate dispecerului sistemului, modificarea poziției echipamentului se face numai cu aprobarea dispecerului, transmisă direct sau prin dispecerul local.

Pentru manevre la instalațiile de importanță locală, dispoziția de manevră este dată de șeful de sector sau de către șeful stației și executată de personalul de exploatare. Pe lîngă dispoziția de manevră, personalului executant i se mai dă și foaia de manevră. Dacă foaia de manevră nu însoțește dispoziția de manevră, aceasta trebuie completată de personalul de exploatare în mod obligatoriu.

Pentru excluderea posibilităților de avarii în instalație și a greșelilor, la efectuarea manevrelor trebuie să se țină seama de următoarele condiții:

— determinarea precisă a poziției echipamentului înainte de manevră;
— tema de manevră trebuie formulată corect și precis;
— ordinea de efectuare a manevrei trebuie respectată cu strictețe;
— să se reflecte cu precizie, în documentația operativă, starea echipamentului după manevră;
— să se țină corect, din punct de vedere tehnic, documentația operativă, registrul de tură și foaia de manevră.

Dispoziția de manevră reprezintă actul oficial în baza căruia personalul de exploatare execută manevra, cu respectarea prescripțiilor de exploatare tehnică.

Ordinea executării unei manevre este următoarea:

— șeful de tură primește dispoziția de manevră de la dispecer (sau de la șeful stației) și o repetă;

— dispecerul ascultă cele repetate de șeful de tură, corectînd eventualele greșeli(în acest caz ascultă din nou repetarea, pentru a o confirma);

— șeful de tură trece în registrul de tură dispoziția primită, ora primirii și numele persoanei care a transmis-o;

— electricianul de tură întocmește foaia de manevră, cu succesiunea operațiilor și o semnează;

— electricianul de tură execută manevra, iar șeful de tură supraveghează;

— șeful de tură notează în registrul de tură executarea manevrei, ora terminării și raportează dispecerului executarea dispoziției. Cu aceasta manevra se consideră terminată.

Dacă există numai o singură persoană de deservire, foaia de manevră se citește la telefon persoanei care a dat dispoziția și apoi se trece numele acesteia în coloana „persoană de control".

Dispoziția de manevră trebuie să se refere numai la operațiile pe un singur circuit sau într-un anumit scop. Nu este permis ca în aceeași dispoziție să se cuprindă două operații care au scopuri diferite, de exemplu punerea în funcțiune a unei linii și scoaterea alteia. În acest scop trebuie să se emită două dispoziții. În foaia de manevră se indică în orice caz următoarele operații:

— verificarea poziției întrerupătoarelor, a separatoarelor și a protecției întrerupătoarelor;

— conectarea și deconectarea circuitelor de protecție, punerea și scoaterea din funcțiune a dispozitivelor automate;

— punerea scurtcircuitoarelor și scoaterea lor;

— verificarea repartizării sarcinilor pe oameni.

În cele ce urmează se dă un exemplu de întocmire a unei foi de manevră.

Se consideră schema de conexiuni a stației din figura 26—5 și se cere să se întocmească foaia de manevră pentru scoaterea din funcțiune a transformatorului T_2, pentru remedierea unui defect la bolțul unui izolator al acestuia.

Remedierea a fost cerută de personalul stației și aprobată de dispecerul sistemului. La ora stabilită, cînd sarcina stației este redusă (fiind zi de repaus), dispecerul emite o dispoziție de manevră în acest sens.

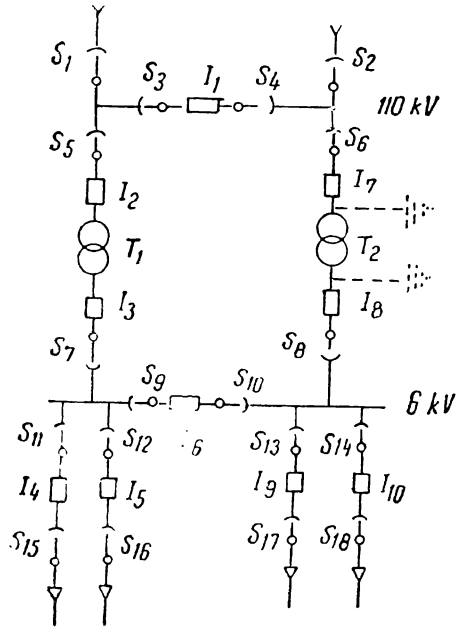


Fig. 26—5. Schema monofilară pentru exemplul de foaie de manevră.

După consemnarea dispoziţiei dispecerului în registrul de manevră, şeful de tură întocmeşte foaia de manevră :

MEE 20 sept. 1965

Început ora 14,05

Terminat ora 15,10

Foaia de manevră nr. 1

Dispoziţia : a se repara legătura la bornele trafo nr. 2. Ordinea de execuţie a manevrelor este următoarea :

1) Se verifică dacă T_1 nu se supraîncarcă inadmisibil la deconectarea lui T_2.

2) Se declanşează întrerupătorul I_8.

3) Se declanşează întrerupătorul I_7.

4) Se verifică poziţia „deschis" a întrerupătorului I_8.

5) Se verifică poziţia „deschis" a întrerupătorului I_7.

6) Se deschide separatorul S_8.

7) Se deschide separatorul S_6.

8) Se verifică lipsa tensiunii pe bornele de 6 kV ale transformatorului.

9) Se verifică lipsa de tensiune pe bornele de 110 kV ale transformatorului.

10) Se montează scurtcircuitoare pe barele de 110 kV între I_7 și T_2.

11) Se montează scurtcircuitoare pe barele de 6 kV între I_8 și T_2.

Execută operațiile : Dumitrescu A, Grupa a IV-a NTS ; supraveghează Corneanu I, grupa a V-a NTS.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele condiții de care trebuie să se țină seama la efectuarea manevrelor, pentru a evita avariile ?
2. Ce este dispoziția de manevră și cine o emite ?
3. Ce cuprinde o foaie de manevră ?

ÎNTREȚINEREA INSTALAȚIILOR DIN STAȚIILE ELECTRICE. CONTROLUL BARELOR, AL IZOLATOARELOR, AL ÎNTRERUPĂTOARELOR ȘI AL SEPARATOARELOR

Funcționarea sigură și fără întreruperi a stațiilor depinde de buna întreținere și exploatare a instalațiilor acestora.

Întreținerea instalațiilor comportă :

— controlul echipamentului aflat sub tensiune ;

— controlul calității uleiurilor izolante din transformatoare, izolatoare cu ulei și întrerupătoare ;

— reparațiile curente și curățirea echipamentelor scoase din exploatare ;

— încercările preventive ;

— reparațiile generale ale echipamentelor.

Supravegherea funcționării echipamentului aflat sub tensiune se efectuează de către personalul de deservire a stației, după indicațiile aparatelor și după revizia exterioară a echipamentului, respectînd normele de tehnică a securității muncii.

Trebuie supravegheat în mod continuu ca echipamentul aflat în funcțiune să nu fie supus la suprasarcini inadmisibile și supraîncălziri peste limite. Independent de aceasta, echipamentul trebuie să fie supus reparațiilor periodice la termenele programate.

Se deosebesc două feluri de reparații : curente și capitale. Reparațiile curente se fac mai des și cuprind un volum redus de lucru : de obicei se

face o revizie exterioară şi curăţirea echipamentului. Reparaţiile capitale se fac la termene mai îndelungate şi cu această ocazie se curăţă, se înlocuiesc sau se repară piese întregi sau ansamble ale echipamentului.

1. Controlul barelor şi al izolatoarelor

La controlul barelor, o atenţie deosebită se acordă îmbinărilor, acestea fiind punctele slabe ale instalaţiei de bare.

Cu timpul, din cauza vibraţiilor, a încălzirii şi a răcirii repetate, locurile de contact se slăbesc. Între suprafeţele de contact apar pelicule de oxizi rău conducătoare de curent. Rezistenţa locurilor de contact devine mai mare. Trecerea curentului electric prin aceste locuri este însoţită de încălzire, care poate ajunge atît de mare, încît materialul barelor se poate topi. La acelaşi efect se ajunge în cazul trecerii prin bare a curenţilor de suprasarcină. Urmările pot fi foarte grave şi de aceea barele trebuie supravegheate în mod continuu. Supravegherea se poate face cu ochiul liber, observînd apariţia semnelor de încălzire intensă, prin variaţia culorii barelor. Cînd încălzirea este destul de pronunţată locurile respective se pot constata mai uşor noaptea în întuneric. La contactele slabe, în întuneric se pot vedea scînteieri şi zone de luminescenţă.

În ceea ce priveşte controlul izolatoarelor de pe bare sau aparate, trebuie să se observe dacă acestea nu sînt fisurate, dacă sînt întregi, dacă sînt curate sau dacă n-au cumva urme provenite din descărcări şi conturnări electrice.

Descărcările şi conturnările electrice care apar la izolatoare se constată fie după zgomotul caracteristic, fie cu ochiul liber după urma scînteii electrice, fie după luminescenţa la descărcare. Observarea şi descoperirea defectelor se face mai uşor la întuneric.

De o mare importanţă este starea de curăţenie a izolatoarelor. Prin suprafaţa prăfuită şi umezită a izolatoarelor se creează căi de scurgere a curenţilor, care pot duce la conturnări ale acestora.

2. Controlul întrerupătoarelor

Întrerupătoarele sînt aparate foarte importante în instalaţiile staţiilor electrice, deoarece au rolul de a întrerupe curenţii de sarcină, de suprasarcină şi curenţii de scurtcircuit.

Neîntreținerea lor în bună stare poate provoca explozii urmate de avarii serioase în instalație și incendii (în cazul întrerupătoarelor cu ulei mult). O dată cu întreținerea întrerupătoarelor se face și întreținerea dispozitivelor de acționare, a căror defectare duce la consecințe tot atît de grave.

La întrerupătoare se verifică zilnic nivelul uleiului, starea de curățenie a izolatoarelor, etanșeitatea cuvelor, starea de încălzire a cuvelor etc.

Partea cea mai importantă a întrerupătorului o constituie sistemul de contacte. Contactele se reglează o dată cu montarea întrerupătorului. În funcționare, datorită vibrațiilor, la închiderea și deschiderea întrerupătoarelor contactele se pot deregla. De aceea, la reparații se execută și reglajul și curățirea lor. Dacă în urma unui scurtcircuit contactele au fost distruse, la reparare ele se înlocuiesc.

La verificarea întrerupătoarelor cu aer comprimat trebuie să se verifice presiunea aerului după manometru și funcționarea supapei de aerisire. La stația de compresoare se verifică funcționarea compresoarelor, caracterul zgomotelor, reglajul pornirii și opririi compresoarelor dacă funcționează corect, temperatura cilindrilor, ungerea lagărelor, presiunea aerului la manometre etc.

Pe conductele de aer comprimat se verifică dacă nu există scăpări de aer. Verificarea se face în special la locurile de îmbinare a conductelor, cu ajutorul apei cu săpun.

3. Controlul separatoarelor

Prin controlul separatoarelor se înțelege supravegherea stării contactelor și a gradului lor de încălzire.

Cu timpul partea mecanică a separatoarelor se slăbește și de aceea este nevoie ca reglarea lor să fie făcută periodic, verificîndu-se simultaneitatea de închidere a contactelor și presiunea arcurilor acestor contacte.

La fiecare control și reparație curentă, lagărele se gresează cu vaselină, ca de altfel și contactele; de asemenea, se gresează și dispozitivele de acționare a separatoarelor.

Se verifică buna funcționare a dispozitivului de semnalizare și starea de curățenie a contactelor comutatorului de semnalizare (CSA). Nefuncționarea semnalizării poate provoca o funcționare incorectă a instalației electrice.

De asemenea, se controlează starea izolatoarelor separatoarelor.

Întrebări recapitulative

1. În ce constă controlul şi întreţinerea instalaţiilor electrice?
2. Cum se execută controlul şi întereţinerea barelor colectoare şi a izolatoarelor din staţii?
3. Cum se face controlul şi întreţinerea diferitelor tipuri de întrerupătoare?
4. Cum se efectuează controlul la separatoare?

CONTROLUL ALTOR APARATE ŞI INSTALAŢII DIN STAŢIILE ELECTRICE

1. Controlul transformatoarelor de măsurat

La controalele periodice se verifică nivelul uleiului în cuvă şi etanşeitatea cuvei. De asemenea, se controlează starea siguranţelor fuzibile pe partea de înaltă şi de joasă tensiune, după indicaţiile voltmetrelor dintre faze şi pământ.

2. Controlul siguranţelor fuzibile

La controlul siguranţelor fuzibile trebuie verificate contactele siguranţelor în soclu sau pe cadrul de siguranţe. Un contact necorespunzător constituie adesea cauza arderii siguranţei.

De asemenea, se verifică integritatea fuzibilelor din patroanele siguranţelor. La siguranţele de înaltă tensiune se verifică starea izolatoarelor de porţelan şi a indicatorului de funcţionare.

3. Controlul reactoarelor

La controlul reactoarelor se verifică dacă nu există zgomote suspecte, vibraţii sau alte anomalii.

La coloanele de beton trebuie să se observe dacă nu au apărut fisuri în beton sau în stratul de lac şi dacă nu s-au ivit defecte la izolaţia spirelor reactorului.

Reactoarele se controlează după fiecare scurtcircuit, observîndu-se dacă nu au apărut deformaţii ale spirelor, fisuri în beton sau alte defecte.

4. Controlul aparatelor de măsurat, de protecție și de semnalizare

La controlul aparatelor de măsurat, de protecție și de semnalizare se verifică starea lor din punct de vedere al curățeniei, al clarității scărilor gradate, de asemenea integritatea acelor indicatoare, existența sigiliilor, a cernelei și a benzilor în cazul aparatelor înregistratoare, poziția stegulețelor la releele de semnalizare. La căderea acestora se controlează cauza căderii și se readuc stegulețele la poziția normală.

Prin conectări de probă se controlează funcționarea aprinderii lămpilor de semnalizare din circuitele de comandă și semnalizare.

Se controlează funcționarea lămpilor de control ale circuitelor de deconectare la bobinele întrerupătoarelor și integritatea siguranțelor din circuitele transformatoarelor de tensiune.

Se observă dacă aparatele indică corect valorile măsurate etc.

5. Controlul instalației de legare la pămînt

Integritatea și starea de funcționare a instalației de legare la pămînt sînt principalele obiective care trebuie urmărite în permanență (atît centura generală a stației, cît și legăturile la pămînt ale aparatelor din stație).

După trecerea curenților de scurtcircuit trebuie să se verifice dacă au apărut locuri arse pe traseul instalației de legare la pămînt. După montarea aparatelor care au fost în reparație trebuie să se verifice dacă nu s-a uitat legarea acestora la priza de pămînt.

Rezistențele de legare la pămînt trebuie verificate periodic, în condițiile cele mai nefavorabile, vara pe timp de ceață, iar iarna pe timpul înghețului.

6. Controlul transformatoarelor de putere

La controlul transformatoarelor de putere se verifică încălzirea și starea exterioară a lor.

Sarcina transformatoarelor lucrînd normal se notează în fiecare oră în registrul de evidență al stației, iar cînd lucrează cu suprasarcină, din jumă-

tate în jumătate de oră. În cazul staţiilor fără personal permanent de exploatare, sarcina se notează la fiecare control.

Sarcina maximă permanent admisă a transformatorului, la o temperatură ambiantă de peste 35 °C, este determinată de temperatura admisibilă a uleiului. La sarcina nominală a transformatorului temperatura maximă admisibilă în straturile superioare de ulei nu trebuie să depăşească +95 °C, adică +60 °C peste temperatura mediului ambiant, considerată 35 °C.

Răcirea transformatoarelor instalate în încăperi închise depinde de cantitatea de aer care trece prin găurile de ventilaţie ale camerei. De aceea, găurile de intrare şi de ieşire ale canalelor de ventilaţie trebuie să fie curate, pentru ca secţiunea de trecere a aerului să fie cît mai mare.

Se controlează de asemenea zgomotul, lipsa scurgerilor de ulei prin neetanşări, picurarea uleiului prin robinete şi ventile, nivelul uleiului din conservator, temperatura aerului de răcire şi a uleiului, existenţa uleiului în orificiul de vizitare a releului de gaze, starea bornelor de legătură şi a izolatoarelor de trecere. La transformatoarele închise ermetic se verifică indicaţiile manometrului şi integritatea membranei de pe tubul de siguranţă.

Se acordă o atenţie deosebită instalaţiei de răcire, prin verificarea funcţionării ventilatoarelor fără zgomote suspecte, integritatea şi ungerea lagărelor ventilatoarelor.

Prin atingere cu mîna se constată dacă toate ţevile radiatoarelor sînt încălzite uniform.

Zgomotul transformatorului în funcţiune trebuie să fie uniform, fără vibraţii, fără foşnete şi pîrîituri.

Scurgerea uleiului prin locurile de etanşare este o dovadă a distrugerii garniturilor de etanşare, fie prin încălzire, fie datorită acţiunii uleiului asupra cauciucului. Scurgerea uleiului prin robinete şi ventile se datoreşte fie neetanşeităţii supapelor, fie închiderii incomplete a acestora.

Nivelul uleiului din conservator trebuie controlat cu atenţie deosebită, mai ales în timpul iernii, cînd, din cauza răcirii mediului ambiant şi a lipsei de sarcină a transformatorului se poate întîmpla ca uleiul să se contracte atît de mult încît prin retragerea din conservator să producă declanşarea transformatorului prin releul de gaze.

Existenţa uleiului în ochiul de vizitare a releului de gaze arată că în transformator nu s-au dezvoltat gaze. Acest control este bine să se facă mai ales la transformatoarele al căror ulei a fost schimbat de curînd sau care au fost montate după scoaterea din reparaţie.

7. Controlul instalațiilor de curent continuu ale stațiilor

La instalațiile de curent continuu ale stațiilor trebuie să se controleze funcționarea instalației de încărcare a bateriilor de acumulare și a bateriilor.

În cazul cînd pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare se folosesc redresoare, se verifică funcționarea acestora cu ajutorul becurilor roșu și verde de pe panoul redresorului și a instrumentelor de măsurat (ampermetru și voltmetru) de pe același panou.

În cazul grupurilor de încărcare de tip motor-generator se verifică starea de curățenie a bobinajelor mașinilor, a colectorului generatorului și a inelelor colectoare.

Comutatorul cu ploturi se ține în perfectă stare de curățenie.

La controlul periodic al bateriilor de acumulatoare se verifică starea bateriei în general, integritatea vaselor, nivelul electrolitului, starea plăcilor (deformații, sulfatare, atingeri), nivelul depunerilor, starea celorlalte piese componente ale acumulatoarelor, precum și densitatea și temperatura electrolitului și tensiunea pe element.

De asemenea, se verifică starea instalațiilor de ventilație și a instalației de încălzire.

Controlul se face vizual și cu instrumente de măsurat. Nivelul electrolitului trebuie să fie cu circa 10—15 mm deasupra plăcilor.

Densitatea electrolitului se verifică cu ajutorul unui densimetru și trebuie să fie cuprinsă între limitele de 1,19 — 1,21. Dacă sînt abateri, densitatea trebuie corectată, fie adăugînd apă distilată, fie acid, după cum densitatea este mai mare sau mai mică.

Temperatura electrolitului se determină cu ajutorul termometrului. Ea trebuie să fie cuprinsă între limitele de 10 — 25 °C; la temperaturi mai ridicate capacitatea bateriei scade, iar la cele mai scăzute există pericolul deteriorării plăcilor. La încărcare, temperatura electrolitului nu trebuie să depășească +40 °C.

Întrebări recapitulative

1. Care aparate și instalații din cadrul stațiilor electrice comportă un control sistematic și în ce constă acest control?
2. Cînd se execută diferitele controale asupra aparatelor și instalațiilor electrice din stații?

EXPLOATAREA ULEIULUI DE TRANSFORMATOR

Cuvele întrerupătoarelor cu ulei şi ale transformatoarelor se umplu cu ulei de transformator.

Ca ulei de transformator se foloseşte uleiul mineral, curat , uşor, cu vîscozitate redusă şi transparent, obţinut din rafinarea ţiţeiului.

În aparatele electrice uleiul de transformator serveşte ca mediu izolant, mediu de răcire sau mediu de stingere a arcului electric. Din acest motiv, uleiul trebuie să aibă calităţi superioare. Calităţile pe care trebuie să le îndeplinească uleiurile de întrerupătoare şi transformatoare (2 004 şi 2 005), cuprinse în STAS 811—54, sînt următoarele :

— uleiul trebuie să aibă o vîscozitate care să nu depăşească o anumită valoare pentru o anumită temperatură ; uleiul prea vîscos împiedică funcţionarea corectă a aparatelor ; vara se foloseşte ulei 2 004, iar iarna ulei 2 005 (mai fluid) ;

— temperatura de congelare trebuie să fie de —45 °C sau mai scăzută ;

— uleiul trebuie să fie complet lipsit de suspensii mecanice, apă, acizi, baze solubile în apă, sulf şi cărbune ; aceste amestecuri reduc calităţile electroizolante ale uleiului.

Pe timpul transportului, al păstrării şi exploatării, uleiul absoarbe apă şi se murdăreşte de la piesele cu care vine în contact sau se oxidează. De aceea, înainte de întrebuinţare trebuie curăţit, iar în timpul exploatării trebuie să i se amelioreze proprietăţile electroizolante.

Toate impurităţile din ulei trebuie eliminate. Pentru curăţirea uleiului de impurităţi există mai multe metode. În cele ce urmează vor fi expuse, pe scurt, cîteva dintre cele mai importante.

Se poate face curăţirea prin fierbere. În acest caz se încălzeşte uleiul într-un aparat special pînă la temperatura de fierbere a apei (100 °C).

În acest fel, apa din ulei se evaporă şi se elimină, deoarece punctul de fierbere al apei este mai scăzut decît cel al uleiului.

Un alt procedeu este centrifugarea. Acest procedeu se bazează pe faptul că apa, fibrele şi nămolul sînt mai grele decît uleiul. Impurităţile ar putea fi eliminate printr-o simplă sedimentare, dar aceasta ar dura prea mult timp. Pentru a efectua o curăţire rapidă şi intensă, uleiul este supus unei mişcări de rotaţie ; sub acţiunea forţei centrifuge, particulele mai grele, impurităţile sînt împinse către pereţii vasului, iar uleiul curat, care este mai uşor, rămîne la mijlocul acestuia.

Centrifugele au o mare productivitate și curăță bine uleiul. De aceea, ele sînt folosite foarte des la operațiile de curățire a uleiului.

În sfîrșit mai există procedeul de filtrare. Curățirea uleiului se face în acest caz prin trecerea uleiului printr-o hîrtie de filtru. Pentru a mări randamentul procesului de curățire, uleiul se trece prin hîrtie sub presiune.

Indiferent de procedeul prin care se execută curățirea, această operație trebuie făcută periodic, pentru a i se asigura uleiului calitățile necesare.

După filtrare și uscare, uleiul se supune încercării de străpungere la înaltă tensiune. Pentru ca uleiul să fie considerat corespunzător imediat după turnare în aparat trebuie să aibă următoarea rigiditate dielectrică (kV/cm reprezentînd tensiunea la care se străpunge stratul de ulei de 1 cm grosime) :

— 120 kV/cm pentru aparate cu tensiunea sub 35 kV ;
— 160 kV/cm pentru aparate cu tensiunea peste 35 kV.

În timpul exploatării, uleiul trebuie supus probelor în mod periodic.

Amplasarea rezervoarelor de ulei, curățirea și centrifugarea lui, efectuarea probelor se face în încăperile anexe ale stațiilor electrice, care constituie gospodăria de ulei.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt condițiile pe care trebuie să le îndeplinească uleiul de transformator ?
2. Care sînt metodele folosite la curățirea uleiului de impurități și apă ?

PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE A INSTALAȚIILOR NOI

Echipamentul nou sau cel ieșit din reparație generală trebuie supus unei recepții severe, de către o comisie de recepție, pe bază de buletine de încercare eliberate de întreprinderea constructoare sau de laboratorul unității în a cărei exploatare intră echipamentul.

La terminarea unor lucrări de instalații electrice, întreprinderea constructoare este obligată să execute probe premergătoare punerii în funcțiune a noii instalații. Acestea se fac pentru fiecare parte componentă a instalației, eliberîndu-se certificate de calitate cu rezultatele măsurărilor efectuate.

Cînd se montează echipamente ieşite din reparaţie capitală, probele se fac de către laboratoarele întreprinderii de exploatare în grija căreia se găseşte instalaţia respectivă.

După aceasta, echipamentul se pune sub tensiune în mod progresiv, dacă există posibilităţi sau, în lipsa acestora, prin şoc. În acest timp se observă toate aparatele de pe tablou. Dacă se constată fenomene anormale, întrerupătoarele se vor declanşa manual, fără să se aştepte acţiunea sistemului de protecţie.

După ajungerea la regimul normal al instalaţiei, aceasta se lasă 72 de ore sub tensiune, fără sarcină, după care, dacă nu au intervenit defecţiuni, se poate lăsa să funcţioneze în continuare.

În afară de transformatoarele de putere pot suporta suprasarcini de scurtă durată şi celelalte elemente ale instalaţiilor electrice din staţii.

Acestea sînt determinate, ca şi la transformatoare, de condiţiile de răcire, care devin cu atît mai favorabile, cu cît temperatura mediului ambiant coboară mai mult sub 35 °C.

Pe baza acestor considerente, întreprinderile de exploatare întocmesc tabele pe care le folosesc cînd se pune problema supraîncărcării unor elemente din componenţa instalaţiilor.

Astfel, dacă temperatura mediului ambiant scade sub 35 °C se admit următoarele suprasarcini maxime :

— pentru bare colectoare se admit suprasarcini pînă la 15 %;

— pentru întrerupătoare şi separatoare suprasarcina maximă admisibilă poate atinge 20 %;

— pentru transformatoare de curent se pot admite suprasarcini de 10—15 % şi uneori 100 %;

— pentru reactoare suprasarcina poate atinge 25 %;

— pentru cabluri se admit suprasarcini pînă la 10 %, limitate la cel mult două ore dacă tensiunea lor de funcţionare este sub 15 kV; peste 15 kV nu se admit suprasarcini.

Întrebări recapitulative

1. Cum se pun în funcţiune instalaţiile noi sau cele ieşite din reparaţii capitale?
2. Ce trebuie să se aibă în vedere la punerea în funcţiune a instalaţiilor noi?

ÎNCERCAREA IZOLAȚIEI

În exploatare, părțile izolante ale echipamentelor, ale cablurilor și ale restului instalației își modifică proprietățile electrice și mecanice în sensul înrăutățirii lor. Din diferite cauze, ca : îmbătrînirea, încărcările excesive la suprasarcini, defectele de fabricație, proprietățile izolante ale izolanților scad, provocînd defecte în instalație. De aceea, pentru prevenirea defectelor, echipamentul trebuie supus periodic încercărilor preventive.

Acestea au scopul de a identifica din timp locurile slabe care pot provoca în viitor defecțiuni.

Încercările preventive cuprind : măsurarea rezistențelor de izolație, încercări ale izolației cu tensiune mărită față de tensiunea normală și măsurarea curenților de scurgere prin izolație și a pierderilor date de cîmpul electric alternativ.

La aceste încercări se adaugă, pentru transformatoarele de putere, măsurarea curentului de mers în gol, a raportului de transformare a rezistenței electrice a bobinajelor și a rigidității dielectrice a uleiului, iar pentru întrerupătoare măsurarea rezistenței de contact, a rigidității dielectrice a uleiului și a dispozitivelor de anclanșare și declanșare.

1. Măsurarea rezistenței de izolație cu megohmmetrul

Principiul de funcționare al megohmmetrului a fost expus anterior. El se folosește foarte frecvent pentru determinarea rezistențelor de izolație la mașini, aparate electrice, circuite electrice, cabluri și altele. Schema de principiu a megohmmetrului este reprezentată în figura 26—6.

Curentul continuu circulă de la borna + a megohmmetrului, prin rezistența adițională R, în circuitul supus încercării, legat la bornele K și Z, de unde se întoarce la borna —, trecînd prin sistemul de măsurare notat cu U. Curentul care trece prin aparat depinde de tensiunea de la bornele inductorului I și de valoarea rezistenței circuitului. Dacă se învîrtește manivela inductorului cu o viteză constantă, tensiunea la bornele lui este constantă, iar valoarea rezistenței măsurate se citește pe scara aparatului. Tensiunea pe care o dă inductorul poate fi de 250, 600, 1 000 și 2 500 V.

Încercarea rezistenței de izolație a fazelor unui transformator este reprezentată în figura 26—7.

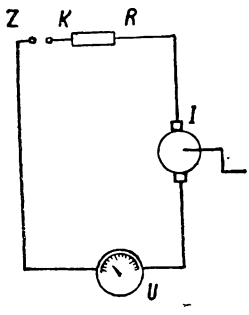


Fig. 26—6. Schema de principiu a megohmmetrului cu inductor.

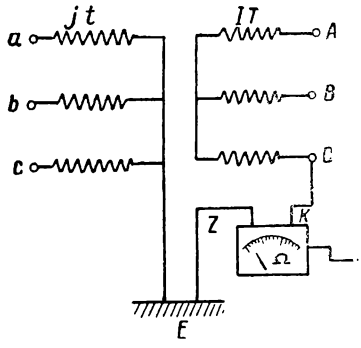


Fig. 26—7. Măsurarea rezistenţei de izolaţie a bobinajelor transformatoarelor.

Una din cleme, *Z*, se leagă la priza de pămînt *E*, iar cealaltă clemă *K* la bobinajul transformatorului.

Rezistenţa de izolaţie, în ohmi, trebuie să fie cel puţin egală cu de o mie de ori tensiunea de lucru dintre faze în volţi.

Încercările cu megohmmetrul sînt încercări de control care au ca scop determinarea deteriorărilor grave ale izolaţiei. La încercarea materialelor în stare uscată indicaţiile aparatului depind de durata după care se efectuează citirea. De aceea se recomandă ca citirea să se facă după 15 s şi după un minut şi apoi să se compare rezultatele.

2. Încercarea preventivă cu tensiune mărită

Încercarea izolaţiei cu tensiune mărită se execută în curent continuu cu ajutorul unei instalaţii cu kenotron, descrisă la capitolul XIV.

Încercările cu supratensiune se pot executa, de asemenea, cu curent alternativ.

3. Determinarea pierderilor în izolaţie

Sub influenţa tensiunii alternative, în materialele izolante au loc pierderi de energie electrică prin transformarea acestora în căldură. Încălzirea izolanţilor determină cu timpul degradarea izolaţiei. Determinarea pierderilor dă un indiciu asupra stării izolaţiei.

Pierderile dielectrice se determină cu punţi speciale, măsurînd „tangenta unghiului de pierderi dielectrice", care caracterizează calităţile ma-

terialului din punctul de vedere al pierderilor. Cu cît pierderile materialului (respectiv tangenta unghiului de pierderi) sînt mai mici, cu atît materialul este un izolant mai bun.

Întrebări recapitulative

1. Cum se face încercarea izolației și în ce scop?
2. În ce constă verificarea izolației cu megohmmetrul?
3. Cu ce se determină pierderile în izolație și ce importanță prezintă?

Capitolul XXVII

FUNCȚIONAREA STAȚIILOR ELECTRICE ÎN REGIM DE AVARIE

CAUZELE PRODUCERII AVARIILOR ȘI DERANJAMENTELOR, CLASIFICAREA LOR

Asigurarea alimentării cu energie eletrică a tuturor sectoarelor industriale, precum și a consumatorilor particulari are o importanță deosebită.

Sistarea livrării de energie electrică duce la pagube însemnate economiei naționale.

O instalație judicios proiectată, bine construită și corect exploatată, trebuie să funcționeze fără abateri de la mersul ei normal. Totuși în exploatare apar defecțiuni ale instalațiilor, care pot fi de natură mecanică, chimică și în special de natură electrică.

Din defectele de natură mecanică și chimică enumerăm: ruperea diverselor părți din instalație, putrezirea, ruginirea, spargerea, corodarea, îmbătrînirea, incendierea etc. diferitelor elemente componente ale sistemelor electrice.

Din defectele de natură electrică cele mai periculoase sînt scurtcircuitele, care au drept consecinţă :

— căderi mari de tensiune ;

— apariţia arcului electric care distruge elementul defectat ;

— distrugerea echipamentului sub acţiune termică şi dinamică a curenţilor de scurtcircuit ;

— pierderea stabilităţii în funcţionare a instalaţiilor.

Funcţionarea instalaţiei supraîncărcate poate conduce de asemenea la avarii şi deranjamente prin degradarea izolaţiei. Protecţia prin relee a instalaţiei are scopul să elimine partea defectă din instalaţie, limitînd acţiunea acesteia asupra părţilor rămase bune în instalaţie.

În sistemele electrice, reţelele constituie partea cea mai expusă la defecte din întreaga instalaţie. Asupra lor lucrează nenumărate cauze exterioare care le degradează.

Schimbarea condiţiilor atmosferice şi umezeala duc la putrezirea stîlpilor, la ruginirea construcţiilor metalice, la slăbirea izolaţiei. Variaţiile de temperatură conduc la spargerea izolatoarelor. Vîntul, chiciura pot duce la ruperea stîlpilor, a conductoarelor etc.

Supratensiunile date de descărcările electrice în linie conduc la conturnarea izolatoarelor sau la străpungerea lor. Fumul, gazele şi depunerile de praf slăbesc izolaţia liniilor electrice şi duc la corodarea părţilor metalice. Păsările şi animalele pot provoca, de asemenea, scurtcircuite cu efecte grave. Chiar oamenii care lucrează neglijent pot provoca avarii, prin nerespectarea normelor de tehnică a securităţii.

Perturbaţiile regimului de funcţionare a instalaţiilor se împart în : avarii, deranjamente, declanşări şi întreruperi la consumatori.

Avaria este perturbaţia funcţionării normale a unui sistem sau părţi din el, avînd ca rezultat alimentarea incompletă cu energie a consumatorilor, deterioarea utilajului principal şi scăderea inadmisibilă a parametrilor energiei (frecvenţă, tensiune, putere). Avarie se consideră şi scoaterea din funcţiune automată sau manuală a unui agregat care are drept consecinţă sistarea livrării de energie consumatorilor.

Nu se consideră avarie scoaterea voită a unei linii sau a unui agregat în scopul prevenirii unei avarii iminente, cînd scoaterea se face cu acordul dispecerului naţional sau cu acordul consumatorilor.

Pierderea stabilităţii sistemului sau desfacerea lui este considerată avarie, dacă din această cauză scade tensiunea inadmibisil şi ies din funcţiune mai mult de 30 % din consumatori.

De asemenea, se consideră avarii deteriorarea generatoarelor, a convertizoarelor de frecvenţă, a compensatoarelor sincrone, transformatoarelor,

întrerupătoarelor, echipamentului electric al liniilor electrice (stîlpi căzuți, izolatori căzuți, rupți, conductori rupți complet), a cablurilor de forță subterane, manșoanelor de legătură, cutiilor terminale etc.

Se numesc deranjamente perturbările care au urmări de mai mică importanță, ca :

— deteriorări de echipamente principale, pentru care se cheltuiește un timp de remediere mai mic decît în cazul avariilor ;

— deteriorările de cablu, chiar cînd nu provoacă întreruperi în alimentarea consumatorilor și nu depășesc durata de 10 ore, de rămînere în reparație ;

— perturbații și deteriorări ale echipamentului auxiliar în funcțiune, care impune opriri ;

— deteriorarea utilajului în timpul reparației sau reținerea lui în reparație peste termenul stabilit ;

— scăderea frecvenței în sistem între 49,5 și 49 Hz pe o durată de 30—60 de minute ;

— scăderea tensiunii în punctele de control ale sistemului sub limitele stabilite, cu mai mult de 10 % și pe o durată mai mare decît o oră.

Se consideră declanșări la consumatori : declanșările automate ale fiderilor și ale transformatoarelor care alimentează un singur consumator, dacă ele se datoresc consumatorului ; întreruperile în alimentarea consumatorilor din cauza deteriorării echipamentului din stații dacă această deteriorare s-a produs din vina consumatorului sau a funcționării defectuoase a protecției cu relee.

Sînt considerate întreruperi la consumatori arderea siguranțelor sau declanșarea întrerupătoarelor pe partea de înaltă tensiune a transformatoarelor, ca urmare a scurturtcircuitelor în rețelele de joasă tensiune sau arderea siguranțelor transformatoarelor pe partea de joasă tensiune.

Avariile și deranjamentele se împart, după cauza principală care le-a determinat, în următoarele grupe :

— din vina personalului de exploatare, de întreținere și laborator, care execută manevre greșite, nu întrețin corespunzător instalația etc. ;

— din vina uzinelor furnizoare de echipamente și a întreprinderilor de montaj ; primii livrează echipament cu defecte ascunse, iar ceilalți execută lucrări slabe ;

— din cauza forțelor naturii : descărcări atmosferice, furtuni, uragane, chiciură, inundații, incendii etc. ;

— din alte cauze : deteriorări prin aruncarea de obiecte metalice pe linie, ruperi de elemente din linie etc., provocate de persoane în necunoștință de cauză sau neglijențe în executarea lucrărilor.

Întrebări recapitulative

1. De ce natură pot fi defectele care se produc în sistemele electrice?
2. Care sînt urmările defectelor de natură electrică?
3. Cum se clasifică perturbaţiile regimului de funcţionare a instalaţiilor electrice?
4. Cum se clasifică avariile şi deranjamentele în funcţie de cauza care le generează?

DECONECTAREA TRANSFORMATOARELOR ŞI A LINIILOR ÎN REGIM DE AVARIE

1. Deconectarea transformatoarelor

Deconectarea transformatoarelor de putere se datoreşte, în majoritatea cazurilor, suprasarcinilor inadmisibile, defectelor interioare ale transformatoarelor sau scurtcircuitelor interioare.

Suprasarcina împinsă peste limitele permise duce la declanşarea transformatorului prin întrerupător, la comanda releelor de protecţie maximală sau la arderea siguranţelor de protecţie a transformatorului.

Dacă suprasarcina a fost cauza deconectării, repunerea transformatorului în funcţiune se poate face imediat, după ce s-a micşorat sarcina la valorile admisibile. Micşorarea sarcinii se poate realiza prin redistribuirea consumatorilor sau prin conectarea transformatoarelor de rezervă.

Deconectarea transformatorului prin protecţia de gaze sau cea diferenţială indică, în majoritatea cazurilor, defecte apărute în interiorul transformatorului. Defectele din interiorul transformatorului pot fi: scurtcircuite între spirele bobinelor, străpungeri între părţile sub tensiune şi masă sau între bobine, arderea buloanelor de strîngere a tolelor şi a izolaţiei dintre tole, defectarea izolatoarelor sau încălzirea contactelor comutatorului de ploturi.

În astfel de cazuri, transformatorul trebuie deconectat şi trecut în reparaţie, locul lui fiind luat de transformatorul de rezervă. Mai întîi se examinează starea cuvei, a membranei de siguranţă, nivelul uleiului în rezervor, eventualele deformaţii ale cuvei, precum şi pierderile de ulei prin fisuri ale cuvei. Se procedează apoi la luarea unei probe de gaze de la releul de gaze. După culoarea şi însuşirile de ardere a gazului se poate determina, cu aproximaţie, natura defectului interior.

În cazul semnalizării sonore a apariţiei unui defect transformatorul trebuie deconectat imediat. Dacă acest lucru nu este posibil, transformatorul

va fi supravegheat, observîndu-se nivelul uleiului din conservator, zgomotele suspecte, temperatura uleiului și se determină caracteristicile gazului din releul de gaze.

La punerea în funcțiune a transformatoarelor noi, precum și a celor ieșite din reparație capitală, se poate întîmpla ca, din cauza aerului care a pătruns în interior, să acționeze releul de gaze și să deconecteze transformatorul. Pentru a nu se întîmpla acest lucru, aerul trebuie evacuat periodic din releul de gaze, în primele zile, după care pericolul dispare.

Uneori, din cauza trepidațiilor mari care pot închide contactele de mercur din releul de gaze sau a scurtcircuitelor conductoarelor legate la releul de gaze, se poate produce declanșarea transformatorului. În astfel de cazuri repunerea în funcțiune a transformatorului se poate face imediat.

2. Deconectarea liniilor

La liniile aeriene defectele sînt în marea lor majoritate trecătoare. De aceea la deconectarea automată se încearcă întîi o repunere imediată sub tensiune. Dacă defectul persistă trebuie să se stabilească care dintre protecții a funcționat (protecția maximală, de punere la pămînt, diferențială) și să se determine cauzele deconectării și felul distrugerilor survenite în urma defectului. Trebuie să se consulte apoi personalul de deservire a instalațiilor alimentate de linie, căutînd să se afle dacă nu consumatorul deține cauzele declanșării automate a liniei. Dacă nu se găsește în acest mod cauza, linia se scoate în rezervă și se efectuează un control vizual sau de izolație.

Dacă linia este în cablu, mai întîi se verifică cu megohmmetrul rezistența de izolație. Dacă nu se ajunge la un rezultat se face o încercare cu tensiune mărită, utilizîndu-se kenotronul.

Dacă defectul nu a putut fi descoperit se poate încerca o repunere sub tensiune a liniei de la distanță sau de la întrerupător, cu condiția ca acesta să fie despărțit de dispozitivul de acționare printr-un perete de zid sau metalic. Dacă ampermetrele indică în acest caz curenți mari, linia trebuie scoasă de sub tensiune înainte de a acționa protecția ei și supusă unor noi încercări.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt cauzele care pot provoca deconectarea transformatoarelor de către sistemele de protecție?
2. Care sînt cauzele deconectării liniilor electrice și cum se depistează ele?

PUNERILE LA PĂMÎNT

1. Puneri la pămînt în reţelele electrice de curent alternativ

În reţelele cu neutru izolat (6—35 kV), la punerea la pămînt a unei faze protecţia nu declanşează, în schimb semnalizează apariţia defectului. Funcţionarea reţelei în acest caz prezintă pericol, prin faptul că pe faza defectă tensiunea scade la zero sau aproape de zero, iar pe celelalte faze ea creşte cu de 1,73 ori tensiunea normală. Aceasta poate produce distrugerea izolaţiei pe cele două faze sănătoase. Punerea la pămînt poate să fie netă (metalică) şi în acest caz tensiunea fazei defecte devine zero, sau prin arc, cînd tensiunea fazei defecte are o valoare mai mare decît zero, dar mai mică decît cea nominală. În acest ultim caz voltmetrele indică tensiuni dezechilibrate pe cele trei faze.

În aceste situaţii, personalul de exploatare trebuie să ia măsuri de determinare a locului defectului şi de înlăturare a lui.

Determinarea locului de punere la pămînt se face prin secţionarea reţelei în sectoare izolate unul de altul, prin măsurarea curentului de punere la pămînt şi prin deconectări de scurtă durată ale liniilor.

Prin secţionarea reţelei în sectoare, după indicaţiile voltmetrelor de fază se determină în care sector a rămas punerea la pămînt şi în care sector a dispărut. Secţionarea liniilor este posibilă dacă ele se alimentează de la transformatoare diferite.

La un sector mai puţin important, cu linii radiale, determinarea liniei pusă la pămînt se efectuează prin procedeul deconectării liniei pentru scurtă durată sau, în cazul cablurilor subterane, prin măsurarea curentului de punere la pămînt.

Măsurarea curentului de punere la pămînt la liniile subterane se bazează pe faptul că la o linie sănătoasă suma curenţilor celor trei faze este egală cu zero, în timp ce la o linie defectă suma curenţilor celor trei faze dă tocmai curentul de punere la pămînt. Curentul se determină cu ajutorul cleştilor de curent care se aplică pe cablu, sub cutia terminală, sau cu ajutorul transformatoarelor de curent speciale montate pe cablu (transformatoare homopolare).

Transformatoarele de curent speciale alimentează ampermetrul sau sistemul de protecţie împortiva punerii la pămînt, iar acestea acţionează sem-

nalul de avertizare. Cînd se dispune de o astfel de protecție nu se mai caută cablul defect, deoarece el este scos în evidență de dispozitivul de protecție.

Procedeul deconectării liniilor și cablurilor pentru scurtă durată constă în aceea că liniile se deconectează succesiv pentru scurt timp (1—2 s), după care se conectează din nou, urmărindu-se indicațiile voltmetrelor de pe faze. Dacă la deconectarea liniei indicațiile voltmetrelor de fază devin normale, aceasta înseamnă că locul punerii la pămînt se află pe acea linie.

După selectarea liniei defecte trebuie descoperit chiar locul defectului. Pentru aceasta, cel mai simplu mijloc este controlul vizual pe linie. Tehnica dispune însă de mijloace mult mai perfecționate, de exemplu defectoscopul catodic, care permite aflarea rapidă a distanței pînă la locul defect (localizarea lui).

2. Puneri la pămînt în instalația de curent continuu

Punerile la pămînt în circuitele de curent continuu care deservesc o stație electrică pot produce acționarea falsă a întrerupătoarelor. Dacă punerea la pămînt apare în două puncte se formează circuite parazite, ai căror curenți trecînd prin releele de protecție pot provoca declanșarea întrerupătoarelor.

În figura 27—1 este reprezentat un astfel de caz.

Presupunînd că au apărut două puneri la pămînt în punctele *1* și *2* prin care circulă curent de la bara + la bara —, bobina de declanșare *BD* declanșează întrerupătorul și întrerupe alimentarea consumatorilor.

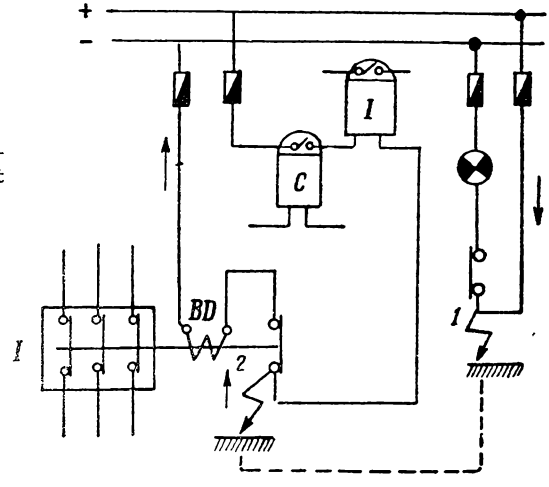


Fig. 27—1. Declanșarea greșită a întrerupătorului prin dublă punere la pămînt în circuitele de curent continuu.

Pentru a evita astfel de neajunsuri, starea circuitelor de curent continuu se verifică în permanenţă cu voltmetrele pentru controlul izolaţiei. La apariţia unei puneri la pămînt se iau imediat măsurile de înlăturare a acesteia.

Determinarea punerii la pămînt se face prin deconectarea succesivă de scurtă durată de la barele de curent continuu a circuitelor, ca şi în curent alternativ.

Fiind vorba de protecţia întregii instalaţii, depistarea locului de punere la pămînt se face numai sub îndrumarea personalului secţiei PRAM.

Întrebări recapitulative

1. Cum se determină locurile de punere la pămînt în circuitele de curent alternativ?
2. Cum se determină locurile de punere la pămînt în circuitele de curent continuu?
3. Ce se poate întîmpla în cazul unei duble puneri la pămînt?

AVARII PROVOCATE DE MANEVRE GREŞITE

1. Manevrele greşite ale personalului de exploatare

Cele mai frecvente greşeli ale personalului de exploatare sînt manevrele greşite ale separatoarelor, adică închiderea şi deschiderea lor sub sarcină.

Manevrarea separatoarelor trebuie să se facă într-un anumit mod. Închiderea trebuie făcută hotărît şi rapid. Astfel, în cazul unei manevre greşite a separatorului sub sarcină, arcul electric se stinge şi avaria poate fi evitată. Dimpotrivă, o închidere lentă şi o încercare de redeschidere duce la apariţia arcului care nu se mai stinge, chiar dacă se deschide complet separatorul. Arcul se poate extinde provocînd un scurtcircuit între faze.

Deschiderea separatorului trebuie făcută încet, observînd dacă nu cumva se formează arc electric, semnul deschiderii sub sarcină. Dacă se produce arc, separatorul se închide imediat la loc.

2. Avariile și deranjamentele aparatelor electrice ale stațiilor

Cele mai grave avarii se pot produce cînd la apariția unui scurtcircuit dispozitivul de declanșare a întrerupătorului refuză să lucreze. În acest caz, instalația de protecție nemailucrînd, barele se pot topi și întrerupătorul poate exploda, producînd avarii grave.

Refuzul dispozitivului întrerupătorului de a lucra se poate datora unei defecțiuni de ordin mecanic, unei defecțiuni în circuitele de protecție sau lipsei tensiunii la bobina de declanșare a dispozitivului.

Deranjamentele dispozitivelor de acționare se previn prin verificări preventive periodice, iar existența tensiunii în circuitul de declanșare se controlează după lămpile de semnalizare.

Lipsa tensiunii în circuitul bobinei dispozitivului de acționare are loc, în majoritatea cazurilor, din cauza defectării contactelor auxiliare ale întrerupătorului sau a arderii siguranțelor în circuitul de curent continuu.

Aceleași efecte se produc la o reglare necorespunzătoare a dispozitivului. Uneori se pot produce declanșări false ale întrerupătorului, ca urmare a unui defect al zăvorului dispozitivului, care la trepidații poate sări.

Creșterea temperaturii uleiului din întrerupător denotă slăbirea contactelor lui, care se încălzesc intens din această cauză.

Lipsa uleiului din întrerupătoare nu permite ruperea corectă a curenților și poate duce la explozii. Cînd se întîmplă astfel de cazuri, întrerupătorul trebuie înlocuit fie cu altul, fie prin întrerupător de cuplă, cum a fost arătat mai înainte.

Transformatoarele de curent se defectează din cauza solicitării termice și mecanice, datorită curenților de scurtcircuit.

Barele generale se defectează mai ales la locurile de îmbinare care nu sînt strînse suficient. Din această cauză apar vibrații, încălziri excesive, care pot produce chiar topirea barelor.

Izolatoarele stației se pot conturna sau străpunge din cauza fisurilor din porțelan, a umezelii sau murdăriei care se depune pe ele. De aceea, izolatoarele trebuie curățate periodic, cu grijă.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt cele mai frecvente greșeli de manevră ale personalului de exploatare și ce trebuie făcut pentru evitarea avariilor?
2. Care sînt cele mai frecvente avarii și defecte la aparatele electrice și de cine sînt provocate?

MĂSURI DE SIGURANŢĂ PENTRU ALIMENTAREA CONTINUĂ A CONSUMATORILOR CU ENERGIA ELECTRICĂ

Pentru prevenirea avariilor şi a deranjamentelor în vederea asigurării permanente cu energie a consumatorilor se iau măsuri corespunzătoare încă în timpul proiectării şi construcţiei instalaţiilor, prin alegerea şi montarea corespunzătoare a tuturor elementelor instalaţiei.

O importanţă deosebită se acordă alegerii releelor de protecţie şi a reglajului acestora precum şi a semnalizărilor necesare.

Corecta funcţionare a semnalizărilor trebuie verificată în permanenţă. Lămpile de semnalizare se vor schimba după un anumit număr de ore de funcţionare, iar siguranţele se vor înlocui numai cu siguranţe calibrate.

În timpul exploatării cel puţin o dată pe an se verifică starea circuitelor secundare (continuitatea circuitelor, starea izolaţiei). Circuitele găsite în neregulă se refac. Se elimină falsa funcţionare a protecţiei prin corectarea circuitelor greşite.

Laboratorul PRAM verifică la intervale bine stabilite comenzile, timpii şi curenţii de declanşare, rezistenţele de izolaţie.

Personalul de exploatare este obligat să verifice după fiecare manevră starea aparatelor de comutaţie primară, eliminînd cauzele care conduc la o funcţionare defectuoasă a acestora.

De asemenea se supraveghează în permanenţă starea circuitelor primare şi a aparatajului.

Cînd se produc încălziri excesive la îmbinări de bare se programează opriri pentru strîngerea şuruburilor slăbite şi se fixează dispozitivele de susţinere a barelor.

Dacă transformatoarele de măsură se încălzesc peste limită se verifică cauzele care conduc la aceasta. La transformatoarele de curent încălzirea excesivă poate fi produsă de funcţionarea acestora fără sarcină în secundar. În cazul încălzirii transformatoarelor de tensiune, încălzirea peste limită poate fi produsă de scurtcircuite în înfăşurări. În caz că siguranţele de protecţie a acestora nu se topesc înseamnă că nu sînt bine dimensionate şi trebuie înlocuite.

Pentru a se putea interveni prompt în vederea restabilirii alimentării consumatorilor toate staţiile trebuie să aibă un iluminat corespunzător. Pe lîngă iluminatul de bază la fiecare staţie trebuie să existe şi iluminat de re-

zervă de pe bateria de acumulatoare ; dacă bateria are capacitate mică iluminatul se va asigura cu lămpi electrice portative sau lămpi cu petrol.

Personalul de tură este obligat să controleze și să verifice întregul echipament și încăperile respective după un grafic fixat prin instrucțiuni.

Controlul periodic se face de electricianul șef de tură la primirea și predarea serviciului și cel puțin de două ori în timpul schimbului. Supravegherea curentă se face din oră în oră.

Controalele au rol preventiv, ele dau posibilitate descoperirii defecțiunilor și sesizează stările anormale în funcționarea instalației.

Echipele de remedieri ale avariilor trebuie să aibă la îndemînă scule adecvate, instrumente și materiale necesare pentru a interveni prompt în caz de perturbări ale funcționării instalațiilor. De asemenea, tura va mai avea dosarul cu instrucțiuni pentru manevrarea instalației în funcționare normală și în caz de avarie, dosarul cu planuri de montaje a instalației, schema iluminatului și normele de tehnică a securității.

În afară de măsurile de prevenire a avariilor arătate mai înainte trebuie să se ia și unele măsuri tehnico-organizatorice de ordin general.

Aceste măsuri sînt : introducerea instrucțiunilor interioare și organizarea unui instructaj corespunzător ; pregătirea tehnică periodică a personalului ; controlul executării disciplinate și tehnice a manevrelor ; executarea controlului periodic și a reviziilor planificate a instalațiilor ; controlul aplicării stricte a ordinelor, dispozițiilor și regulamentelor ; organizarea unor examene periodice cu personalul ; studierea focarelor de avarii și întocmirea de planuri de remedieri.

Siguranță mare în alimentarea consumatorilor se mai obține prin folosirea sistemelor de reanclanșare automată rapidă.

Alte măsuri pentru mărirea siguranței în alimentare constau în sisteme multiple de bare colectoare și existența transformatoarelor de rezervă, așa cum s-a arătat anterior.

O deosebită importanță se acordă protecției stației electrice împotriva supratensiunilor care apar la conectarea sau deconectarea circuitelor dintr-un sistem, precum și supratensiunilor, datorită loviturilor directe de trăsnet care se propagă pe linii pînă la stații și care pot străpunge izolația diferitelor elemente. Împotriva supratensiunilor de această natură se montează descărcătoare cu rezistență variabilă (DRV) sau tubulare (DT), care prin acțiunea lor limitează supratensiunile.

În unele cazuri un sistem electric alimentînd un oarecare număr de consumatori, din cauza unei avarii se poate fragmenta în două, o parte din consumatori rămînînd fără alimentare. În acest caz, alimentarea acestora poate fi asigurată dacă sistemul electric este legat în buclă. Rețeaua buclată de-

vine în acest caz arborescentă. Dacă alimentarea nu se face în buclă, asigurarea consumatorilor cu energie se poate face racordîndu-i la un alt sistem de bare de rezervă, în care caz trebuie efectuate manevre de legare a sistemului.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele măsuri care se iau pentru prevenirea avariilor?
2. Ce măsuri tehnico-economice trebuie luate pentru a reduce numărul avariilor?
3. Ce măsuri se iau pentru mărirea siguranţei în exploatarea instalaţiilor electrice?

TEHNICA SECURITĂŢII MUNCII ÎN INSTALAŢIILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Exploatarea corectă a instalaţiilor de înaltă tensiune se face prin respectarea normelor de exploatare tehnică şi a normelor de tehnica securităţii muncii.

Normele de tehnica securităţii stabilesc regulile după care trebuie efectuată exploatarea şi măsurile obligatorii pe care trebuie să le ia personalul de exploatare în vederea prevenirii accidentelor de muncă.

Executarea manevrelor în instalaţii nu este permisă decît în prezenţa a două persoane care cunosc bine instalaţia, cu respectarea foii de manevră. Una din persoane execută manevrele, iar cealaltă urmăreşte efectuarea corectă a acestora, cu respectarea normelor de exploatare şi a celor de tehnica securităţii muncii.

Controlul instalaţiei de înaltă tensiune se poate efectua de către o singură persoană, cu excepţia cazurilor cînd trebuie demontate grilajele de protecţie în scopul pătrunderii în spatele lor.

Lucrările la instalaţiile de înaltă tensiune nu sînt permise decît după scoaterea de sub tensiune a instalaţiei, verificarea lipsei de tensiune, legarea la pămînt de protecţie, aplicarea scurtcircuitoarelor pe faze şi aplicarea plăcuţelor avertizoare.

Persoana care execută operaţia trebuie să aibă mănuşi de cauciuc, cizme de cauciuc şi pod izolant sau covor izolant.

Lucrările la tablourile de comandă se fac cu utilizarea sculelor izolante și stînd pe covoare de cauciuc. Curățirea tablourilor se execută de personalul instruit în acest sens și sub directa supraveghere a tehnicianului de serviciu.

1. Măsuri de prevenire a accidentelor

La orice operație executată în instalațiile de înaltă tensiune trebuie să se aibă în vedere posibilitatea atingerii părților aflate sub tensiune. De aceea trebuie luate toate măsurile pentru a evita acest lucru. Dintre aceste măsuri fac parte :

— utilizarea plăcuțelor avertizoare, care să atragă atenția asupra existenței înaltei tensiuni și să oprească executarea unor anumite manevre care ar putea conduce la accidente ;

— utilizarea inscripțiilor pentru indicarea precisă a locurilor unde urmează a se efectua operațiile, avînd în vedere că o serie de instalații nu diferă ca aspect unele de altele și din greșeală se poate intra în altă parte unde există tensiune ;

— existența îngrădirilor și a barelor de protecție legate la pămînt pentru a nu permite accesul la instalația sub tensiune și protecția în caz de explozii sau avarii ale părților conducătoare ;

— utilizarea mijloacelor izolante de către personalul de exploatare;

— utilizarea mijloacelor pentru controlul prezenței tensiunii, înainte de începerea lucrărilor de reparații ;

— utilizarea scurtcircuitoarelor de protecție ;

— legarea la priza de pămînt a instalațiilor care accidental pot ajunge sub tensiune.

Mijloacele izolante de protecție folosite în exploatarea instalațiilor electrice sînt de două feluri : principale și suplimentare.

Din mijloacele principale fac parte acelea care suportă în condiții bune tensiunea nominală a instalației, cum sînt ștangile izolante pentru manevrele separatoarelor, clești izolanți pentru scoaterea și introducerea siguranțelor tubulare etc.

La instalații sub 1 000 V sînt considerate mijloace principale mănușile de cauciuc și mînerele izolante ale sculelor cu care se lucrează.

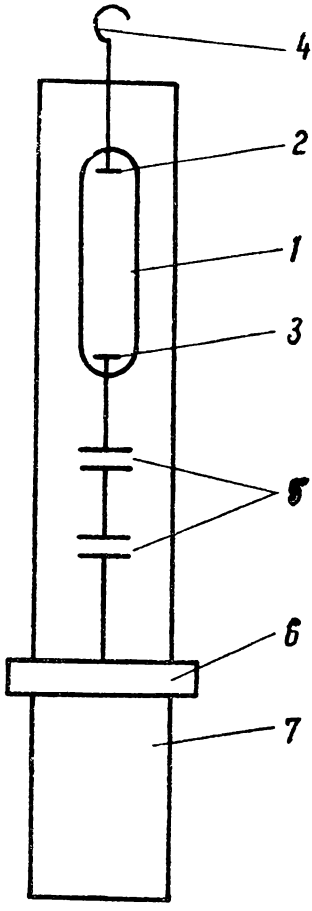


Fig. 27—2. Indicatorul de tensiune cu lampă cu neon.

Din mijloacele suplimentare fac parte mijloacele care nu pot elimina pericolele de electrocutare, dar care întăresc acţiunea mijloacelor principale de protecţie. Dintre acestea fac parte : mănuşile de cauciuc, cizmele de cauciuc, podurile izolante şi covoarele izolante.

La efectuarea diverselor lucrări şi manevre în staţii se folosesc împreună atît mijloacele principale cît şi cele suplimentare.

Înainte de începerea lucrărilor în instalaţii sub tensiune, trebuie să se verifice prezenţa tensiunii în locurile unde trebuie se să intervină. Pentru tensiuni joase se folosesc în acest scop lămpi portative sau voltmetre.

Pentru controlul prezenţei tensiunii pînă la 35 kV se foloseşte indicatorul cu neon (fig. 27—2).

Acesta este compus dintr-un material izolant *7* şi un tub cu neon *1*, cu doi electrozi *2* şi *3*. Electrodul *2* este legat la cîrligul *4*, iar electrodul *3* la inelul metalic *6*, prin intermediul condensatoarelor *5* legate în serie. Ţinînd indicatorul de mîner şi atingînd cu cîrligul *4* partea instalaţiei aflată sub tensiune, tubul cu neon se iluminează, ca urmare a trecerii prin el, prin condensator şi prin corpul personei care ţine indicatorul, a unui curent foarte mic şi nepericulos.

Persoana care utilizează indicatorul cu neon trebuie să aibă mănuşi de cauciuc, cizme de cauciuc şi să stea pe un pod izolant sau covor de cauciuc.

La tensiuni mai mari de 35 kV nu se folosesc indicatoare cu neon, ci se examinează vizual starea aparatelor de conectare separatoare, întrerupătoare, precum şi aparatele de pe panouri, care măsoară tensiunea în partea respectivă a instalaţiei.

Pentru punerea la pămînt a instalaţiei şi scurtcircuitarea fazelor se folosesc trei cabluri unite într-o clemă de fixare, de la care pleacă cordonul de legare la pămînt.

Scurtcircuitoarele sînt numerotate și ținute în strictă evidență. Locurile de instalare a lor trebuie să fie consemnate în documentația tehnică operativă din camera de comandă. La preluarea și predarea schimbului trebuie să se consemneze în registrul de tură evidența scurtcircuitoarelor montate sau demontate.

Prin montarea scurtcircuitoarelor se preîntîmpină posibilitatea de ajungere sub tensiune, în mod accidental, a părții de instalație pe care acestea sînt montate.

2. Legarea la pămînt de protecție

Legarea la pămînt de protecție se face în scopul asigurării personalului de deservire împotriva pericolului de electrocutare la atingerea unor părți din instalație, care în mod normal nu se află sub tensiune, dar care accidental pot să ajungă sub tensiune.

Pentru a lămuri necesitatea aplicării legării la pămînt de protecție se va folosi figura 27—3.

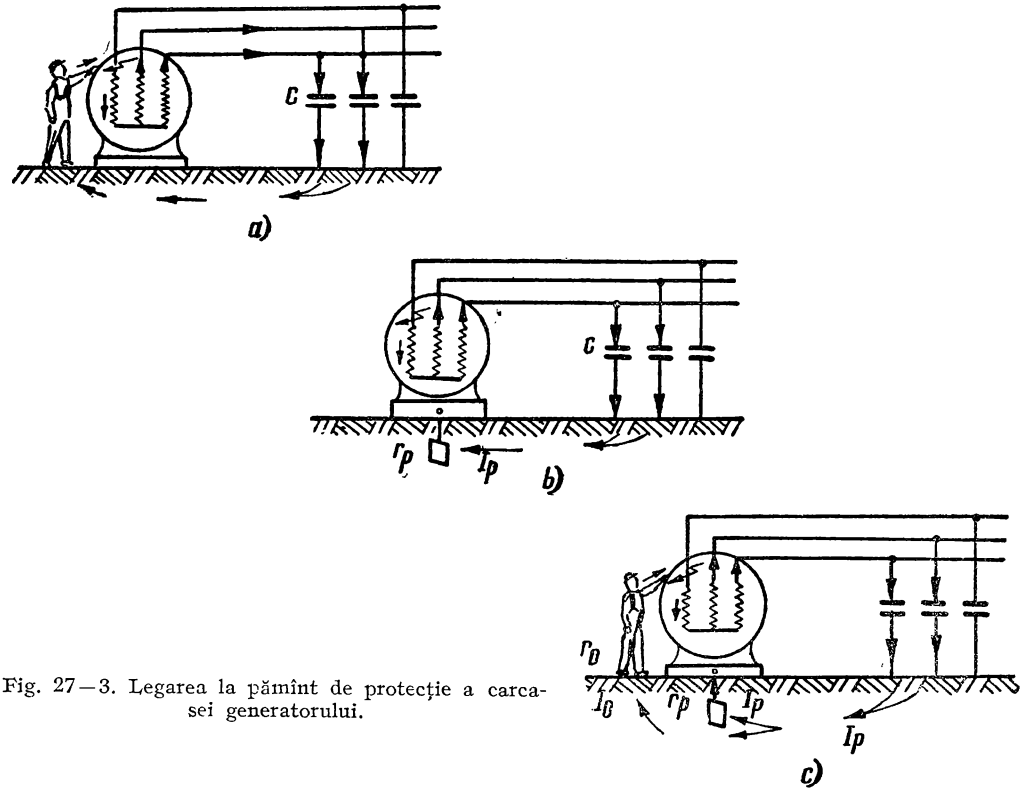


Fig. 27—3. Legarea la pămînt de protecție a carcasei generatorului.

Se presupune că generatorul nu are carcasa legată la pămînt (fig. 27—3, *a*), În cazul apariţiei unei străpungeri între bobinaj şi carcasă, aceasta ajunge la tensiunea fazei generatorului. Dacă un om aşezat cu picioarele pe pămînt ar atinge carcasa generatorului, ar fi supus unei diferenţe de potenţial, iar prin corpul său ar trece un curent care se închide prin fazele sănătoase ale liniei, capacităţile acesteia, pămînt, corpul omului şi carcasă. Dacă acest curent depăşeşte 50 mA, viaţa omului este periclitată.

Dacă carcasa generatorului este legată la pămînt ca în figura 27—3, *b*, curentul care rezultă se bifurcă : o parte trece prin faza de legare la pămînt, iar cealaltă parte prin corpul omenesc (fig. 27—3, *c*).

Cu cît rezistenţa prizei de legare la pămînt este mai mică, cu atît curentul care trece prin corpul omenesc este mai mic. Priza se poate construi de aşa natură încît curentul care trece prin corpul omului să fie mai mic decît 50 mA, şi deci nepericulos. Valoarea acestui curent se deduce din relaţia :

$$I_0 = I_p \frac{r_p}{r_0}, \qquad (27.1)$$

în care : I_0 este curentul prin corpul omenesc ;
I_p — curentul din circuitul prizei ;
r_p — rezistenţa prizei de legare la pămînt ;
r_0 — rezistenţa corpului omenesc.

Rezistenţa corpului omenesc variază de la 800—1 000 Ω pînă la zeci de mii de ohmi, în funcţie de starea pielii (umedă sau uscată), de suprafaţa de atingere cu partea sub tensiune şi de alţi factori.

Ţinînd seama de cea mai mică valoare posibilă a rezistenţei r_0 se poate calcula valoarea tensiunii minime care poate provoca un curent periculos pentru om :

$$V_{min} = r_{0\,min} I_{0\,min} = (800 \cdot \cdot \cdot 1\,000)\, 0{,}05 = 40 \cdot \cdot \cdot 50 \text{ V} \qquad (27.2)$$

Pentru a nu se produce tensiunea periculoasă s-a constatat că rezistenţa prizei de legare la pămînt trebuie să fie cuprinsă între 0,5 şi 10 Ω.

Amplasarea prizelor în staţie prezintă o importanţă însemnată în cazul punerii la pămînt a conductoarelor sub tensiune, de exemplu, la ruperea lor şi căderea pe pămînt sau la atingerea instalaţiilor legate la pămînt.

În acest caz, personalul de exploatare poate fi electrocutat din cauza curentului dat de tesiunea de pas. Pentru a înţelege ce este tensiunea de pas se va folosi figura 27—4.

Se presupune că una din fazele reţelei avînd neutrul izolat face contact cu carcasa întrerupătorului legată la pămînt printr-o priză tubulară. Prin

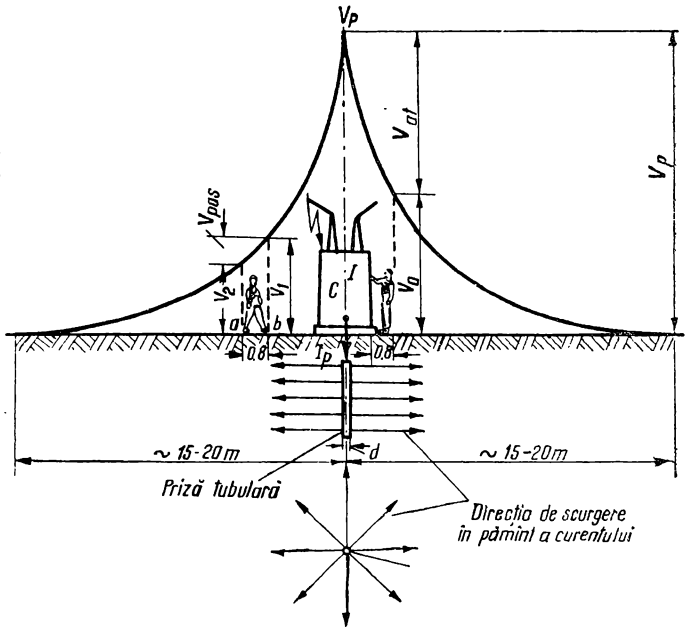


Fig. 27—4. Repartizarea potențialelor la suprafața pămîntului, în jurul unei prize tubulare.

această priză se va scurge curentul capacitiv de punere la pămînt al rețelei. Dacă valoarea curentului este mică, poate să nu acționeze protecția prin relee, astfel că prin priză va circula un curent timp îndelungat. Repartizarea curenților în jurul prizei va face ca la suprafața pămîntului să apară potențiale neuniforme, care scad de la priză înspre periferie. Variația potențialului în jurul prizei este reprezentată în figură prin curbe avînd forma literei V întoarse. Aceste curbe arată că, la o distanță de aproximativ 15—20 m, potențialul la suprafața pămîntului poate fi considerat egal cu zero. În vecinătatea prizei, potențialul ajunge la valoarea V_p.

Presupunînd că un om se găsește cu picioarele între două puncte *a* și *b*, situate la circa 0,8 m, el va fi supus la o diferență de potențial care poartă denumirea de tensiune de pas :

$$V_{pas} = V_1 - V_2. \tag{27.3}$$

Această tensiune este cu atît mai mare cu cît omul se apropie mai mult de priza de pămînt.

Dacă un om care se găsește la distanța de 0,8 m de întrerupător atinge carcasa acestuia, el este supus unei diferențe de potențial dat de relația :

$$V_{at} = V_p - V_o, \tag{27.4}$$

în care : V_{at} este tensiunea de atingere ;

V_p — potenţialul carcasei întrerupătorului ;

V_o — potenţialul pămîntului în locul unde stă omul.

Instalaţia de legare la pămînt trebuie astfel executată încît tensiunea de pas şi tensiunea de atingere să nu depăşească valoarea considerată periculoasă. Aceasta se realizează folosind un număr suficient de prize şi o dispoziţie a lor cît mai favorabilă.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt măsurile generale de tehnică a securităţii muncii care trebuie luate în exploatarea staţiilor electrice ?
2. Care sînt mijloacele de prevenire a accidentelor ?
3. Ce este legarea la pămînt de protecţie şi cum se realizează aceasta ?
4. Ce este tensiunea de pas şi tensiunea de atingere ?

Capitolul XXVIII

REPARAŢIILE ECHIPAMENTULUI STAŢIILOR ELECTRICE

NECESITATEA REPARAŢIILOR. PREGĂTIREA LOR

1. Necesitatea reparaţiilor

Echipamentul staţiilor electrice, cu timpul, se acoperă de praf şi se încarcă cu murdărie, piesele se uzează, pe izolatoarele de porţelan apar fisuri şi alte semne de distrugere, contactele fixe se slăbesc, iar cele mobile se dereglează, garniturile de etanşare se usucă şi pe lîngă ele începe să curgă uleiul etc.

Pentru curăţirea echipamentului şi pentru înlăturarea defectelor care apar, echipamentul este scos din funcţiune periodic, la termene dinainte stabilite, pentru efectuarea reparaţiilor curente sau capitale.

Reparațiile curente cuprind operațiile prin care se curăță echipamentele și se execută lucrări fără demontarea întregului echipament.

Reparațiile capitale cuprind lucrări de mare amploare, prin înlocuirea unor ansambluri din echipament.

Termenele de reparație se stabilesc printr-un program amănunțit, în funcție de importanța instalației electrice respective și de amplasarea ei.

Instalațiile electrice situate în apropierea surselor de praf, fum și altfel de impurități, cum ar fi fabricile de ciment, industriile chimice, nodurile mari de comunicație, trebuie reparate curent mai des decît restul instalațiilor. De asemenea, intervalele de timp dintre două reparații la instalații importante vor fi mai scurte decît la instalațiile de importanță secundară.

Efectuarea reparațiilor curente se face prin scoaterea instalației de sub tensiune, dar fără scoaterea ei de pe fundație. Locul unde urmează a se efectua reparația curentă se separă de restul instalației și se iau toate măsurile de tehnica securității pentru personalul care execută lucrările. Reparațiile curente se trec într-un registru de reparații și de ele se ține seama la reparația capitală a echipamentului.

Reparațiile capitale impun demontarea totală a echipamentului și uneori transportarea lui în ateliere sau întreprinderi specializate.

Prin reparațiile capitale se tinde ca durata de funcționare a utilajelor să fie prelungită și caracteristicile lor de funcționare să fie ameliorate.

Periodicitatea reparațiilor capitale este de unul sau mai mulți ani.

Reparația planificată trebuie executată astfel încît pînă la următoarea oprire nu numai să nu se producă vreo avarie, ci să nu mai fie nevoie de nici o operație oricît de mică, neprevăzută în plan.

2. Pregătirea reparațiilor

Reparațiile se execută după un grafic anual, care este întocmit astfel încît, prin scoaterea din funcțiune a utilajelor în timpul reparațiilor, să nu se stînjenească alimentarea cu energie a consumatorilor.

Durata reparației se stabilește în funcție de natura utilajului și de mărimea reparației.

Înainte de începerea reparației trebuie asigurate piesele care urmează a fi înlocuite.

Reparațiile se execută de obicei într-un atelier special al întreprinderii. Acest atelier trebuie să fie utilat cu mașinile-unelte necesare (strunguri, mașini de găurit etc.), bancuri de lucru, scule, aparate de ridicat și transportat,

macarale, trolii, scripeţi etc.), precum şi aparate de măsurat electrice şi mecanice. Reparaţia este condusă de un maistru sau de un inginer, care întocmeşte un plan de lucru amănunţit, stabilind, în funcţie de graficul calendaristic, operaţiile necesare, muncitorii care le vor executa şi maşinile-unelte care vor fi utilizate.

Muncitorii echipelor de reparaţii trebuie să cunoască volumul şi planul lucrărilor şi să fie instruiţi, atît în ceea ce priveşte lucrările tehnice propriu-zise, cît şi asupra măsurilor de tehnica securităţii.

De asemenea, înaintea începerii reparaţiei trebuie studiate planurile utilajelor şi ale pieselor şi documentaţia tehnică a lucrării de reparaţie.

După reparaţie, înainte de darea în exploatare, utilajul respectiv este recepţionat de o comisie specială, care încheie un proces-verbal de constatare.

Întrebări recapitulative

1. Prin ce se deosebesc reparaţiile capitale de cele curente?
2. În ce constă pregătirea reparaţiilor?

REPARAREA DIFERITELOR ELEMENTE ALE STAŢIILOR ELECTRICE

1. Repararea transformatoarelor

Reparaţia curentă a unui transformator se face fără decuvarea lui. Reparaţia constă în curăţirea exterioară a cuvei, curăţirea izolatoarelor, strîngerea şuruburilor de prindere, verificarea prizei de legare la pămînt, verificarea modului în care funcţionează comutatorul de ploturi, completarea uleiului pînă la nivelul normal şi centrifugarea uleiului în cazul cînd s-a constatat o rigiditate dielectrică scăzută a acestuia.

Pentru executarea unei reparaţii capitale, transformatorul se decuvează. Se verifică buloanele de strîngere ale jugului, precum şi izolaţia magnetică a acestora. Se verifică starea bobinelor de înaltă şi de joasă tensiune şi se spală cu ulei cald. Se verifică şi se curăţă izolatoarele de trecere şi comutatorul de ploturi. La acesta din urmă se dă o atenţie deosebită stării contactelor. Uleiul din cuvă se scoate şi se regenerează, iar cuva se curăţă bine.

După remontare, transformatorul este supus probelor electrice, pentru a se constata dacă este bun pentru funcționare. De multe ori, în astfel de cazuri se constată că transformatorul prezintă umiditate și în acest caz trebuie să fie uscat. Există mai multe metode de uscare a transformatoarelor, și anume : uscarea în scurtcircuit, uscarea prin inducție în vid și uscarea prin curenți homopolari.

Uscarea în scurtcircuit este cea mai veche metodă de uscare și constă în alimentarea transformatorului cu o tensiune redusă pe partea de înaltă tensiune, partea de joasă tensiune fiind legată în scurtcircuit. Tensiunea de alimentare este cea corespunzătoare tensiunii de scurtcircuit a transformatorului respectiv. În acest mod, transformatorul se încălzește ca și cînd ar funcționa în plină sarcină.

Concomitent cu uscarea transformatorului se face și centrifugarea uleiului.

Uscarea prin inducție în vid este o metodă mai nouă. După curățirea și controlul părților interioare ale transformatorului, acestea se reintroduc în cuvă. Se demontează radiatoarele și în locul lor se montează flanșe oarbe, apoi se izolează transformatorul de jur împrejur cu vată de sticlă și cu azbest. Peste izolație se așază un conductor izolat, formînd un număr de spire. Prin trecerea unui curent prin conductor se induc în cuvă curenți care produc încălzirea ei și ca urmare încălzirea bobinajelor. În același timp, în cuvă se face vid cu o pompă specială de vid.

Uscarea prin curenți homopolari este o metodă nouă care folosește trecerea aceluiași curent prin cele trei bobinaje ale transformatorului. Se combină de asemenea cu producerea de vid în cuvă.

În oricare din sisteme, uscarea se consideră terminată atunci cînd din transformatoare nu mai iese decît o cantitate redusă și constantă de apă. Rezistența de izolație, care se măsoară din oră în oră, trebuie să rămînă constantă circa 24 de ore.

2. Repararea întrerupătoarelor

Periodicitatea de reparare a întrerupătoarelor depinde atît de timpul cît acestea au stat în funcțiune, cît și de numărul de deconectări produse în acest interval.

Pentru reparație, întrerupătorul se demontează și se curăță. O atenție deosebită se dă contactelor, care se înlocuiesc cu altele noi, precum și transmisiei mecanice, căreia i se înlocuiesc sau i se repară piesele uzate.

Se dă o deosebită atenție reglării forței de apăsare a contactelor.

Izolatoarele se controlează şi se curăţă. În cazul cînd se constată fisuri sau spărturi, izolatoarele se înlocuiesc.

O dată cu întrerupătoarele se repară şi dispozitivele lor de acţionare. La întrerupătoarele cu aer comprimat se verifică dacă nu există pierderi de aer, şi în caz afirmativ se etanşează punctele unde se produc aceste pierderi.

La întrerupătoarele cu ulei se verifică rigiditatea uleiului şi, dacă este necesar, se înlocuieşte ori se centrifughează.

În afară de reparaţiile planificate, întrerupătoarele trebuie revizuite şi după ce au acţionat de patru ori în condiţii de scurtcircuit.

3. Repararea separatoarelor

Se controlează în primul rînd starea contactelor, care dacă sînt uzate trebuie să fie înlocuite. Presiunea contactelor trebuie să fie potrivită astfel, încît să fie suficientă pentru a asigura un bun contact electric şi în acelaşi timp să nu fie prea mare, încît deconectarea să fie prea grea.

Se verifică şi se înlocuiesc piesele defecte ale dispozitivului de acţionare.

Izolatoarele care au fisuri sau spărturi se înlocuiesc.

4. Repararea barelor şi a izolatoarelor

O dată cu reparaţiile aparatelor din staţie trebuie făcută şi reparaţia barelor şi a izolatoarelor corespunzătoare.

Murdărirea cu praf a izolaţiei instalaţiilor electrice poate conduce la avarii grave. De aceea, părţile instalaţiilor supuse murdăririi trebuie curăţate periodic. Curăţirea se face cu scoaterea de sub tensiune a instalaţiilor respective. La instalaţiile în aer liber se poate face spălarea cu apă a instalaţiilor sub tensiune, cu luarea unor măsuri speciale de protecţie. În cadrul reparaţiilor se strîng buloanele şi piesele de contact ale barelor, atît la legăturile între bare, cît şi la prinderea barelor de izolator şi aparate. Dacă este nevoie se face şi revopsirea barelor.

Întrebări recapitulative

1. Cum se execută reparaţiile diferitelor elemente ale instalaţiilor electrice?
2. De cine depinde perioada de execuţie a reparaţiilor pentru diferite elemente componente ale instalaţiilor electrice?

MĂSURILE DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII ÎN TIMPUL REPARAȚIILOR

La demontarea și la remontarea diverselor părți ale instalațiilor se iau măsuri obișnuite de protecție pentru lucru în instalațiile electrice, efectuîndu-se în primul rînd manevrele de scoatere de sub tensiune a instalației respective, izolarea ei de părțile sub tensiune și apoi demontarea sau remontarea ei.

În atelierul de reparații, fiecare muncitor trebuie să cunoască și să respecte instrucțiunile privitoare la tehnica securității muncii.

Locul de lucru trebuie ținut în perfectă ordine și curățenie.

Înainte de începerea lucrărilor se controlează starea tehnică a sculelor. Cozile ciocanelor trebuie să fie bune și bine fixate, iar ciocanele propriuzise să nu prezinte fisuri sau aşchieri. Pilele, de asemenea, trebuie să aibă cozile bine fixate.

Carcasele motoarelor electrice trebuie să fie puse la pămînt.

Cînd se lucrează la polizor trebuie să se folosească ochelari albi de protecție. Iluminarea atelierului trebuie să fie suficientă. Lămpile portative se alimentează la o tensiune de 24 V. Lămpile și cordoanele trebuie să fie întotdeauna în stare perfectă.

Dacă se lucrează cu mașina electrică de găurit, înainte de începerea lucrului se verifică dacă izolația cordonului este în bună stare. Carcasa mașinii trebuie neapărat legată la pămînt.

La lucrările care se execută în incinta stațiilor se scot de sub tensiune părțile de instalație la care urmează a se lucra. Acestea se separă vizibil și se îngrădesc în mod sigur față de părțile instalației care rămîn sub tensiune. Se blochează separatoarele și întrerupătoarele care ar putea pune sub tensiune instalația la care se lucrează, se instalează plăcile avertizoare, se face verificarea lipsei de tensiune de către personalul de exploatare și numai după aceea, pe baza unei dispoziții de lucru se încep lucrările de reparație. La aceste lucrări poate lua parte numai personal calificat, care și-a însușit regulile de protecție și tehnica securității.

La executarea lucrărilor de reparații în interiorul stațiilor manevrarea obiectelor lungi, scări, țevi etc., se va face cu multă atenție. De asemenea, lucrările pe schele sau scări trebuie executate cu deosebită atenție; sînt interzise schelele improvizate din lăzi, butoaie etc.

La lucrările executate la înălțime muncitorii trebuie să folosească centuri de siguranță.

Responsabilul lucrării nu are voie să participe direct la lucrări, ci el trebuie să supravegheze în mod continuu lucrul şi în special acele operaţii care se află în apropierea instalaţiilor sub tensiune.

După terminarea lucrului, locul de muncă este pus în ordine, instalaţia se predă personalului de exploatare, se scot instalaţiile provizorii de punere la pământ, paravanele şi plăcile avertizoare şi dispoziţia de lucru este preluată de şeful de tură al staţiei.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt măsurile de tehnică a securităţii muncii care trebuie respectate în timpul reparaţiilor?
2. Ce măsuri trebuie luate după terminarea lucrărilor de reparaţii?

Capitolul XXIX

ORGANIZAREA EXPLOATĂRII INSTALAŢIILOR ELECTRICE

ORGANIZAREA ÎNTREPRINDERILOR DE ELECTRICITATE

Pentru ca instalaţiile electrice să funcţioneze în bune condiţii, exploatarea lor nu se face la întîmplare, ci se conduce după anumite reguli tehnice şi organizatorice. Fără aceste reguli exploatarea ar fi nesigură şi s-ar putea face greşeli care ar duce la întreruperi în furnizarea energiei şi la deteriorarea instalaţiilor.

Din punct de vedere organizatoric, în fiecare regiune administrativă a ţării există o întreprindere regională de electricitate, care are în grija ei reţelele, staţiile şi centralele din regiunea respectivă, cu excepţia centralelor mari, care formează întreprinderi separate.

Întreprinderea este condusă de un director care supraveghează întreaga activitate a ei şi un inginer şef, care se ocupă de activitatea tehnică a întreprinderii.

În organizarea unei întreprinderi se deosebesc : suprastructura și secțiile direct productive (sectoarele).

În sarcina suprastructurii întreprinderii intră : coordonarea, îndrumarea și controlul activității tehnice a secțiilor productive, problemele de plan, contabil-financiare, de organizare a muncii, juridice, de gospodărie, de personal și învățămînt, de aprovizionare, relațiile cu marii consumatori și activitatea de dispecer. De asemenea, întreprinderea de electricitate este organizată astfel încît să poată satisface problemele de proiectare și de execuție pentru instalații noi de pe teritoriul întreprinderii respective, ca de exemplu extinderile de rețele, racorduri electrice, branșamente, instalații interioare, electrificări rurale, iluminat public, cu excepția lucrărilor importante și de mare amploare, care intră ca proiectare în competența institutelor de proiectare specializate și ca execuție în competența întreprinderilor de construcții și montaje.

Principalele sarcini care revin unităților de producere, transport și distribuție a energiei electrice sînt :

— asigurarea puterii maxime stabilite pentru consumatori ;

— asigurarea funcționării sigure și economice a instalațiilor, astfel ca alimentarea cu energie a consumatorilor să se facă fără întreruperi și la un preț de cost cît mai redus ;

— menținerea parametrilor normali ai energiei furnizate (frecvență, tensiune etc.) ;

— menținerea instalațiilor și a echipamentelor în stare de perfectă funcționare ;

— controlul instalațiilor consumatorilor, al modului în care aceștia le exploatează și asigurarea de asistență tehnică consumatorilor, pentru funcționarea corectă a instalațiilor acestora.

Sectoarele productive ale întreprinderilor grupează diversele instalații, rețele și stații electrice, în funcție de situația lor teritorială.

Stațiile electrice au un șef de stație, care are în subordinea lui personalul de exploatare (de tură). Într-o stație sînt cel puțin doi electricieni (un electrician de serviciu și un ajutor) în fiecare schimb.

Electricienii de schimb efectuează operațiile de exploatare și control pe perioada lor de serviciu. Ei execută manevre în stații pe baza dispozițiilor primite.

În afară de dispozițiile care se dau, de la caz la caz, întreg personalul trebuie să cunoască perfect „Prescripțiile de exploatare tehnică (PET) ale centralelor și rețelelor electrice". Acestea sînt întocmite de Ministerul Ener-

giei Electrice, care coordonează activitatea tuturor întreprinderilor de electricitate şi respectarea lor este obligatorie.

De asemenea, fiecare întreprindere întocmeşte o serie de norme şi instrucţiuni tehnice specifice instalaţiilor din întreprinderea respectivă.

Pentru ca personalul de exploatare să se obişnuiască cu manevrele din staţii se fac periodic exerciţii de prevenire a avariilor; se fixează ca temă anumite avarii care ar putea interveni în staţia respectivă, iar electricienii de serviciu trebuie să ştie ce operaţii să execute pentru înlăturarea lor.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt atribuţiile întreprinderilor regionale de electricitate?
2. Care sînt principalele sarcini ale suprastructurii unei întreprinderi de energie electrică?
3. Care sînt sarcinile care revin unităţilor de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice?

COORDONAREA EXPLOATĂRII ÎNSTALAŢIILOR ELECTRICE

În vederea alimentării cu energie electrică a consumatorilor, în cantitate suficientă şi de bună calitate, sistemele energetice regionale nu lucrează independente, ci interconectate într-un sistem unic, sistemul energetic naţional. Interconectarea se realizează prin linii electrice de înaltă şi de foarte înaltă tensiune.

Coordonarea funcţionării sistemului întreg se face de o unitate centrală: Dispecerul naţional. Acest for este unicul care hotărăşte ce măsuri trebuie luate în vederea alimentării cu energie electrică a consumatorilor pe baza datelor furnizate de serviciile de dispeceri din unităţile regionale. Dispecerul poate hotărî intrarea în funcţiune a unităţilor producătoare de energie ţinute în rezervă, pentru acoperirea surplusului de energie cerut la un moment dat de un consumator, deconectarea sau conectarea în cadrul sistemului a liniilor, scoaterea din funcţiune a unor linii în vederea efectuării legăturii noilor linii la sistem sau pentru reparaţii, la cererea întreprinderilor de exploatare regională etc.

1. Coordonarea reglajului protecției

După cum s-a văzut, instalațiile sînt prevăzute cu dispozitive de protecție și automatizare, care asigură securitatea instalațiilor protejate și mențin alimentarea consumatorilor. Instalațiile de protecție cele mai importante, ca și automatizările, se găsesc în grija unității productive de dispeceri energetici, care întocmesc planurile de reglaj și automatizare, pe baza graficelor de sarcină. Pentru rețelele secundare din grija serviciilor locale de dispecer de la întreprinderile regionale, planurile de reglaj și automatizare se fac de către acestea și se aprobă de către conducătorii acestor unități cu avizul serviciilor de protecție prin relee, automatizări, măsurări (PRAM).

Planul de reglaj conține valorile la care trebuie reglate diferitele relee din sistem pentru acționare sigură și selectivă. Valorile de reglaj se stabilesc în funcție de graficele de încărcare ale centralelor și stațiilor electrice, de scurtcircuitele cele mai probabile și mai periculoase care pot apărea în sistem.

2. Acoperirea sarcinilor cerute de rețea

Consumatorii de energie electrică, ca uzine, instituții, întreprinderi sînt alimentați prin rețele electrice care pornesc din stațiile electrice. Consumul de energie al acestora nu are o valoare constantă pe o anumită perioadă de timp. De exemplu, o uzină care lucrează numai într-un schimb va consuma timp de 8 ore o cantitate mai mare de energie, iar în cele 16 ore care rămîn consumul va fi mult redus. Un oraș va utiliza o cantitate mai mare de energie pentru iluminat începînd cu o anumită oră de seară pînă dimineața, în restul zilei consumul fiind redus. Rezultă de aici că stația va trebui să asigure consumatorii cu cantități variabile de energie. În același timp, stația va trebui să acopere și pierderile care apar în mod inevitabil în procesul de transport al energiei către consumator, pierderile în transformatoare, precum și consumul serviciilor interne.

Pentru a se putea stabili regimul de încărcare a unei stații se întocmesc curbele de încărcare zilnice ale stațiilor. Acestea reprezintă variații ale puterii debitate de stații în decurs de 24 de ore.

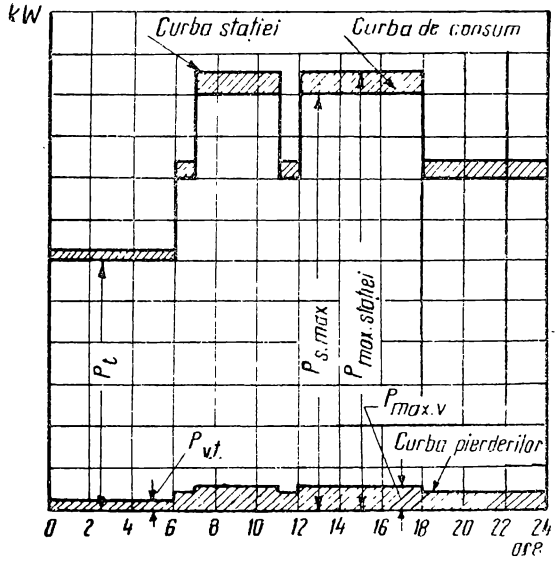


Fig. 29—1. Curba zilnică de sarcină a unei staţii.

În figura 29—1 este reprezentată o curbă de sarcină zilnică a unei staţii care alimentează un grup de consumatori de energie.

Din curbă se observă perioadele de consum minim şi perioadele cu consum mărit de energie. Pe baza curbelor zilnice se pot stabili curbe de sarcină lunare, anuale etc. Curbele de sarcină ale staţiilor permit să se calculeze necesarul de energie care trebuie luat de staţie din sistemul energetic în care lucrează, pentru a satisface necesităţile de energie ale consumatorilor.

Prin însumarea tuturor puterilor de la centrale şi staţii se stabileşte necesarul de energie care trebuie produs, repartizarea sarcinilor pe centrale, posibilităţile de acoperire a vîrfurilor de energie etc.

Întrebări recapitulative

1. Cum sînt organizate teritorial şi funcţional întreprinderile de exploatare a instalaţiilor electrice?
2. Cum se face conducerea operativă a sistemelor energetice?
3. Cum se face coordonarea reglajului protecţiei?
4. Cum se face acoperirea sarcinii în sistemul energetic?

PRIMIREA ȘI PREDAREA SCHIMBULUI DE TURĂ ȘI OBLIGAȚIILE DIN TIMPUL SERVICIULUI

Pentru ca exploatarea tehnică a unei instalații electrice (stație, centrală, sector de rețele) să se poată executa în bune condiții este necesar să se respecte în mod riguros conducerea unică și disciplina. Numai în acest mod se pot evita operațiile și manevrele greșite și se pot lichida avariile.

Serviciul de tură se organizează după un grafic aprobat de către conducătorul unității. Personalul de serviciu nu are voie să lipsească nemotivat de la locul de muncă ce i s-a încredințat și trebuie să fie pregătit în orice moment să execute orice operație necesară.

Personalul trebuie să cunoască bine instalația electrică pe care o deservește, caracteristicile și parametrii ei; să-și însușească temeinic toate instrucțiunile referitoare la instalația respectivă; să fie disciplinat și să respecte întocmai dispozițiile primite.

O atenție deosebită trebuie acordată primirii și predării serviciului.

La primirea schimbului, personalul care intră de serviciu trebuie să examineze îndeaproape toate instalațiile pe care le va avea sub supraveghere, pentru a cunoaște starea în care se găsesc (în afară de instalații de rețele, unde examinarea directă nu se poate face, informarea luîndu-se de la tura precedentă).

Fiecare muncitor care predă schimbul, comunică înlocuitorului său ce instalație trebuie supravegheată cu mai multă atenție, ce părți ale instalației sînt în reparație etc. Se verifică dacă aparatele, materialele de rezervă, cheile de la camerele de distribuție, registrele de exploatare sînt la locul lor; se verifică funcționarea telefoanelor. Cel care intră de serviciu trebuie să citească tot ce s-a scris în registre de la ultima sa ieșire din serviciu și în special de către cel pe care îl înlocuiește, căruia trebuie să-i ceară explicații și amănunte.

După ce au examinat împreună instalația electrică, au constatat starea în care se găsește și regimul de funcționare a instalației, personalul care predă, cît și cel care preia serviciul semnează împreună în registrul de exploatare. După aceea ei anunță pe inginerul sau dispecerul de serviciu că s-a efectuat predarea-primirea schimbului.

Predarea-primirea schimbului nu se poate face dacă la ora respectivă există vreo avarie în instalație, ci predarea-primirea schimbului se face numai după ce avaria s-a lichidat. În același mod se procedează dacă se execută în instalație vreo manevră.

Întrebări recapitulative

1. Care sînt principalele îndatoriri ale personalului de tură în timpul serviciului?
2. Cum se face predarea-primirea schimbului?
3. Cum se face predarea-primirea schimbului în condiţii de avarie în instalaţie sau în cazul efectuării de manevre?

TEHNICA SECURITĂŢII ÎN INSTALAŢIILE ELECTRICE

1. Acţiunea curentului electric asupra corpului omenesc

Trecerea curentului electric prin corpul omenesc poartă numele de electrocutare.

Electrocutarea produce:

— şocuri electrice însoţite de tulburarea funcţionării inimii, a organelor respiratorii, tulburări nervoase, pierderea cunoştinţei;

— arsuri.

În anumite împrejurări curentul poate produce moartea celui electrocutat.

La trecerea curentului electric, corpul omenesc se prezintă ca o rezistenţă. Această rezistenţă variază în limite foarte mari, avînd în condiţii obişnuite o valoare aproximativă de 1 200—1 600 Ω. În condiţii defavorabile, în special în caz de umiditate a pielii, rezistenţa poate scădea pînă la 800Ω, iar în condiţii favorabile rezistenţa poate creşte foarte mult.

Un curent avînd o valoare de 0,1 A, trecînd prin corpul unui om provoacă de obicei moartea. Valori ale curentului între 0,05—0,1 A provoacă, de asemenea, perturbaţii importante organismului omenesc. Se poate considera ca nepericulos un curent de 0,01—0,02 A. Valoarea curentului electric care trece prin corpul omenesc depinde de valoarea tensiunii, de rezistenţa electrică a corpului omenesc şi de rezistenţele care ar fi legate în serie cu rezistenţa corpului.

Rezultă că în cazuri defavorabile chiar o tensiune mică, de exemplu 110 V, care în general este socotită inofensivă, poate avea urmări grave. S-au întîmplat multe cazuri de accidente mortale la tensiunea de 110 V sau chiar la o tensiune mai joasă.

Din acest punct de vedere se poate considera ca inofensivă pentru corpul omenesc tensiunea de 24 V, căci chiar în cazuri defavorabile curentul rezultat este:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24}{1\,200} = 0{,}02 \text{ A},$$

deci un curent nepericulos.

2. Măsuri de tehnica securității

Pentru evitarea accidentelor, în activitatea de construire, exploatare, întreținere și reparare a instalațiilor electrice se iau o serie de măsuri de siguranță de natură tehnică-organizatorică.

Dintre măsurile specifice cele mai importante sînt următoarele :

— Nici un salariat nu poate intra la lucru pînă nu a fost instruit și apoi supus unui examen, din care să se constate că și-a însușit cunoștințele de tehnică a securității corespunzătoare locului de lucru.

— Lucrările la instalațiile de înaltă tensiune se execută numai după ce instalațiile respective sau cele din imediata apropiere au fost scoase de sub tensiune și legate la pămînt prin legături speciale. Instalațiile din apropiere care rămîn sub tensiune se îngrădesc și accesul la ele este oprit prin tăbliță avertizoare.

— Lucrările la instalațiile de joasă tensiune se fac numai după ce s-au scos de sub tensiune. Pot face excepție : montarea și demontarea becurilor, montarea și demontarea siguranțelor și lucrări de legături aeriene la micii abonați (însă numai cu măsuri speciale).

— Manevrele în stații și pe linii se fac de pe covoare de cauciuc sau podețe izolante și folosind cizme și mănuși de cauciuc.

— Lucrul în apropierea instalațiilor sub tensiune se execută numai sub supravegherea unei persoane însărcinate exclusiv cu această misiune.

— Toate părțile metalice ale aparatelor sau ale instalațiilor care în mod normal nu sînt sub tensiune, dar care printr-un defect de izolație ar putea fi puse sub tensiune, se leagă la pămînt. În instalațiile de joasă tensiune cu nulul pus la pămînt, aceste părți metalice se pot lega la nul.

— Pe stîlpii liniilor aeriene, ușile stațiilor și posturilor, cabine, celule etc. se montează tăbliță avertizoare cu inscripțiile : „Nu vă apropiați — Tensiune înaltă — Pericol de moarte".

3. Măsuri de prim ajutor în caz de accidente

În cazul unui accident prin electrocutare, victima trebuie îndepărtată de aparatul sau conductorul electric care a electrocutat-o, luîndu-se măsurile de precauție.

În primul rînd se va căuta să se întrerupă curentul. Dacă acest lucru nu este posibil, se va îndepărta conductorul aflat sub tensiune cu ajut unei prăjini de lemn uscat sau al unui obiect cu mîner izolant. Cît

accidentatul este sub tensiune el nu trebuie atins decît de persoane cu echipament de protecţie. După îndepărtarea tensiunii se transportă victima de la locul accidentului într-un loc unde poate să i se dea ajutorul necesar.

Fără să se piardă nici un minut trebuie începută imediat respiraţia artificială.

Respiraţia artificială se poate face în mai multe feluri. Unul din ele este următorul : se aşază victima cu faţa în jos, de preferinţă pe teren neted şi moale, cu braţele întinse în lungul corpului. Dedesubt, imediat sub coaste, i se va introduce un sul făcut dintr-o haină, paie, ierburi etc. (fig. 29—2), apoi cel care face respiraţia artificială îngenunchează deasupra accidentatului astfel încît genunchii primului să fie în dreptul buzunarelor pantalonilor. În această poziţie se aşază mîinile cu degetele larg deschise, în aşa fel ca extremităţile degetelor mici să vină pe extremităţile ultimei coaste, iar degetele mari să fie paralele la vreo 6 cm de o parte şi de alta a şirei spinării.

După aceea cel care dă primul ajutor se lasă cu toată greutatea pe victimă ; prin aceasta, toracele se turteşte şi plămînul se goleşte de aer realizîndu-se expiraţia. După aceasta, se ridică uşor, fără a lua mîinile de la locul lor ; elasticitatea cutiei toracice (coşul pieptului) face ca pieptul să se umfle şi astfel să se producă o inspiraţie de aer. Această mişcare se repetă în mod regulat, chiar timp de ore întregi, de 12—16 ori pe minut, în ritmul respiraţiei normale, pînă ce accidentatul începe să respire.

Este o greşeală de neiertat să se abandoneze după 30—60 minute efectuarea respiraţiei artificiale, întrucît sînt cazuri cînd accidentatul şi-a revenit abia după mai multe ore de respiraţie artificială.

În acest timp se cheamă de urgenţă şi medicul.

Întrebări recapitulative

1. Care este acţiunea curentului electric asupra corpului omenesc ?
2. Care sînt principalele măsuri de tehnica securităţii în instalaţiile electrice ?
3. Ce este o tensiune nepericuloasă ?
4. Ce măsuri de prim ajutor se dau unui electrocutat ?
5. Cum se face respiraţia artificială ?

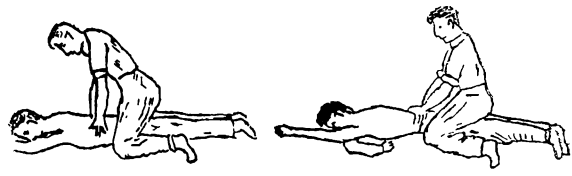


Fig. 29—2. Executarea respiraţiei artificiale.

CUPRINSUL

PARTEA ÎNTÎI

Producerea, transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice

Cap. I. **Componența sistemelor electroenergetice** 5

Cap. II. **Sisteme de distribuție** 8

Distribuția în curent continuu 9
Distribuția în curent alternativ 11

Cap. III. **Rețele electrice** 16

Clasificarea rețelelor electrice și a consumatorilor 16
Rețele industriale. Rețele de importanță generală 19

Cap. IV. **Instalații electrice interioare** 21

Elementele instalațiilor interioare 22

Cap. V. **Proiectarea și execuția instalațiilor electrice interioare** 31

Planul și schema electrică a unei instalații interioare de lumină și forță 31
Execuția, exploatarea și întreținerea instalațiilor electrice interioare 35

Cap. VI. **Montarea și exploatarea motoarelor electrice** 39

Tipuri de motoare electrice și utilizarea lor 39
Pornirea și reglarea motoarelor electrice 42

PARTEA A DOUA

Linii electrice aeriene

Cap. VII. **Elementele liniilor electrice aeriene** 49

Conductoarele liniilor aeriene 49
Izolatoarele liniilor 55
Stîlpii liniilor. Tipuri de stîlpi 59
Stîlpii de lemn 61
Stîlpii metalici și de beton armat 64
Fundațiile stîlpilor 68

Cap. VIII. **Armături pentru linii aeriene** 71

Suporții izolatoarelor rigide 72
Armăturile lanțurilor cu izolatoare de suspensie 73
Înnădirea conductoarelor. Așezarea conductoarelor pe stîlpi 77

Cap. IX. **Montarea liniilor electrice aeriene** 80

Proiectul liniei și lucrările pregătitoare 80
Lucrări de săpături și fundații 83
Asamblarea stîlpilor 88
Ridicarea stîlpilor 92
Montarea conductoarelor 98
Înnădirea conductoarelor și întinderea lor la săgeată 101
Legarea conductoarelor de izolatoare 105

Cap. X. **Întreținerea liniilor electrice aeriene** 107

Controlul liniilor electrice aeriene 107
Încercările preventive ale liniilor electrice aeriene 109
Verificarea clemelor de legătură și măsurarea rezistenței prizelor de pămînt 111
Repararea liniilor electrice aeriene 114

Cap. XI. **Exploatarea liniilor electrice aeriene** 116

Funcționarea liniilor. Recepția și punerea în funcțiune a instalațiilor noi 116
Cauzele întreruperilor în alimentarea cu energie electrică și clasificarea lor 118
Defecte care apar la liniile electrice aeriene — Defectarea stîlpilor 122
Defectarea izolatoarelor, armăturilor și conductoarelor 124
Organizarea exploatării liniilor electrice aeriene 127

PARTEA A TREIA

Linii electrice subterane

Cap. XII. **Elementele liniilor electrice subterane** 133

Cablurile electrice 133
Tipuri de cabluri electrice — Cablurile cu izolaţie de hîrtie 134
Cabluri cu izolaţie de cauciuc sau policlorură de vinil 137
Manşoane de înnădire 138
Manşoane de derivaţie, cutii de distribuţie şi cutii terminale . . . 141

Cap. XIII. **Montarea liniilor electrice subterane** 146

Alegerea traseului şi pozarea cablurilor 146
Montarea manşoanelor de înnădire 150
Montarea manşoanelor de derivaţie, a cutiilor de distribuţie şi a capsulelor de plumb 154

Cap. XIV. **Exploatarea şi întreţinerea liniilor electrice subterane** 157

Controlul şi încercarea cablurilor 157
Aflarea locului de defect în cabluri 159
Acţiunea curenţilor vagabonzi asupra cablurilor 162

PARTEA A PATRA

Calculul reţelelor electrice

Cap. XV. **Calculul electric al reţelelor electrice** 167

Pierderile în reţelele electrice. Căderea de tensiune 167
Calculul căderii de tensiune pe o linie simplă de curent continuu cu un singur consumator 171
Calculul căderii de tensiune pe o linie simplă de curent continuu cu mai mulţi consumatori 173
Calculul căderii de tensiune pe o linie de curent continuu ramificată 176
Calculul electric al unei linii de curent continuu alimentată de la ambele capete 182
Calculul reţelelor de curent alternativ la căderea de tensiune . . 185
Calculul liniilor trifazate 187
Calculul reţelelor la pierderea de putere 193
Calculul liniilor de transport 195
Efectul corona şi influenţa liniilor aeriene de înaltă tensiune asupra liniilor de telecomunicaţii 199

Calculul simplificat al rețelelor 202
Calculul conductoarelor la încălzire 205
Alegerea secțiunii conductoarelor și a siguranțelor fuzibile 208

Cap. XVI. **Calculul mecanic al liniilor electrice aeriene** 211

Forțele care acționează asupra stîlpului 211
Influența chiciurii asupra liniilor electrice aeriene 213
Acțiunea vîntului și a temperaturii asupra liniilor electrice aeriene 215
Gabaritele liniilor 217
Calculul conductoarelor liniilor aeriene 219
Calculul stîlpilor 222
Calculul stîlpului simplu de lemn 224
Calculul ancorelor la stîlpii de joasă tensiune 227
Verificarea stabilității fundațiilor 229

PARTEA A CINCEA

Stații electrice

Cap. XVII. **Tipuri de stații și elementele acestora** 235

Elementele stațiilor electrice 235
Barele stațiilor electrice 238
Îmbinarea barelor 241
Contactele electrice. Arcul electric și puterea de rupere a întrerupătoarelor 244
Separatoare electrice 249

Cap. XVIII. **Întrerupătoare de înaltă tensiune, bobine de reactanță, transformatoare, tipuri de stații** 256

Întrerupătoarele cu ulei mult 257
Întrerupătoare cu ulei puțin și întrerupătoare cu expansină 263
Întrerupătoare cu aer comprimat. Întrerupătoare cu gaze. Separatoare de sarcină 268
Montarea întrerupătoarelor 271
Dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor 273
Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune și bobine de reactanță 281
Transformatoarele de putere 286
Transformatoare de măsură. Transformatoare de tensiune 291
Transformatoare de curent 294
Simboluri utilizate în schemele electrice ale stațiilor 298
Construcția stațiilor electrice 300
Stațiile interioare 301
Stațiile interioare de 6—10 și 15 kV 303

Celule prefabricate de interior 307
Staţiile interioare de 35—110 kV 310
Staţiile exterioare 312
Celule prefabricate pentru exterior 317

Cap. XIX. **Scheme de conexiuni şi posturi de transformare** 321

Schemele staţiilor ridicătoare cu bare secţionate 321
Schemele staţiilor ridicătoare cu bare duble, secţionate şi cu schemă-bloc 323
Schemele staţiilor ridicătoare cu bare de ocolire şi cu două tensiuni secundare 326
Schemele staţiilor coborîtoare. Schemele staţiilor raionale 327
Schemele staţiilor locale de mare putere şi ale staţiilor de distribuţie şi conexiune 329
Schemele posturilor de transformare 331
Construcţia posturilor de transformare 333

Cap. XX. **Scurtcircuitele în reţelele electrice** 338

Efectele curenţilor de scurtcircuit şi clasificarea lor 338
Metode de calcul în unităţi absolute 342
Calculul reactanţelor cu ajutorul unităţilor absolute 345
Metode de calcul în unităţi relative 349
Calculul curenţilor de scurtcircuit cu ajutorul metodei unităţilor relative 352
Variaţia curentului de scurtcircuit în funcţie de timp 358
Calculul curentului de scurtcircuit în funcţie de timp cu ajutorul curbelor de calcul 361
Efectele electrodinamice ale curenţilor de scurtcircuit asupra barelor şi izolatoarelor 370
Verificarea barelor colectoare la stabilitate electrodinamică . . . 372
Efectele termice ale curenţilor de scurtcircuit 375
Alegerea aparatajului electric al staţiilor 381
Alegerea transformatoarelor de intensitate a întrerupătoarelor automate, a separatoarelor şi a reactanţelor 382
Formule de calcul ale reactanţelor inductive în unităţi absolute şi în unităţi relative pentru diferite elemente ale unei instalaţii electrice 384

Cap. XXI. **Serviciile interne ale staţiilor** 385

Alimentarea serviciilor interne cu energie electrică 385
Instalaţii de iluminat 387
Instalaţii de curent continuu 389
Instalaţii auxiliare 394

Cap. XXII. **Instalații de măsurat și de control din stațiile electrice** 395

Clasificarea și construcția aparatelor 395
Tipuri de aparate de măsurat electrice 398
Măsurarea intensității curentului 404
Măsurarea tensiunii 406
Măsurarea puterii active și aparente 409
Măsurarea puterii reactive 412
Măsurarea energiei electrice 413
Măsurarea factorului de putere, a rezistenței de izolație și a temperaturii 415
Aparate înregistratoare 418
Montarea aparatelor de măsurat și control 420
Aparate de măsurat portative 422
Exploatarea și întreținerea aparatelor de măsurat și control 423

Cap. XXIII. **Protecția instalațiilor electrice și automatizarea lor** 427

Instalații de protecție contra supratensiunilor 427
Descărcătoarele 430
Prizele de pământ 433
Protecția prin relee a instalațiilor electrice 435
Releele primare 437
Releele secundare 439
Relee de tensiune minimă 441
Releele electromagnetice 442
Releele cu magnet permanent 443
Relee electrodinamice 444
Relee de inducție, termice și cu mărimi de acționare neelectrice . . . 446
Protecția maximală de curent 449
Protecția maximală de curent direcțională 453
Protecția de distanță 455
Protecția maximală de curent contra punerilor la pământ 456
Protecția de curent maximală temporizată a transformatoarelor . . 457
Protecția diferențială a transformatoarelor 459
Protecția de curent diferențială temporizată 461
Protecția prin relee de gaze 462
Protecția motoarelor electrice împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor 464
Protecția minimală de tensiune a motoarelor electrice 466
Protecția motoarelor prin contactoare electromagnetice 469
Scheme ale circuitelor secundare 471
Scheme de conectare a aparatelor de măsurat 473
Dispozitive de semnalizare și semnalizările folosite în stațiile electrice 475
Blocări împotriva manevrelor greșite ale separatoarelor 477
Execuția și exploatarea circuitelor secundare 478
Reanclanșarea automată rapidă a liniilor (R.A.R) 481

Anclanşarea automată a rezervei (A.A.R) 485
Dispozitivul de descărcare automată a sarcinii (DAS) 487

Cap. XXIV. **Camera de comandă** 488

Amplasarea camerei de comandă 488
Panouri de comandă cu schema oarbă şi aparate de măsurat . . . 490
Sarcinile personalului tehnic al camerei de comandă 492
Tablouri de comandă, tipuri de panouri 495

PARTEA A ŞASEA

Exploatarea şi întreţinerea staţiilor electrice

Cap. XXV. **Funcţionarea în paralel a transformatoarelor şi generatoarelor** 499

Condiţiile necesare pentru punerea în paralel a generatoarelor 499
Manevrele de punere în paralel a alternatoarelor 504
Schema de sincronizare 506
Condiţiile pentru funcţionarea în paralel a transformatoarelor . . . 509
Supraîncărcări admisibile pentru generatoarele sincrone şi transformatoare 512

Cap. XXVI. **Funcţionarea staţiilor electrice în regim normal** 515

Exploatarea tehnică a instalaţiilor 515
Conectarea şi deconectarea liniilor şi a transformatoarelor de putere 517
Diverse manevre în staţii 518
Organizarea efectuării manevrelor 520
Întreţinerea instalaţiilor din staţiile electrice 523
Controlul altor aparate şi instalaţii din staţiile electrice 526
Exploatarea uleiului de transformator 530
Punerea în funcţiune a instalaţiilor noi 531
Încercarea izolaţiei 533

Cap. XXVII. **Funcţionarea staţiilor electrice în regim de avarie** 535

Cauzele producerii avariilor şi deranjamentelor, clasificarea lor 535
Deconectarea transformatoarelor şi a liniilor în regim de avarie . . 538
Punerile la pământ 540
Avarii provocate de manevre greşite 542
Măsuri de siguranţă pentru alimentarea continuă a consumatorilor cu energie electrică 544
Tehnica securităţii muncii în instalaţiile de înaltă tensiune 546

Cap. XXVIII. **Reparațiile echipamentului stațiilor electrice** 552

Necesitatea reparațiilor. Pregătirea lor 552
Repararea diferitelor elemente ale stațiilor electrice 554
Măsurile de tehnică a securității muncii în timpul reparațiilor . . . 557

Cap. XXIX. **Organizarea exploatării instalațiilor electrice** 558

Organizarea întreprinderilor de electricitate 558
Coordonarea exploatării instalațiilor electrice 560
Primirea și predarea schimbului de tură și obligațiile din timpul serviciului 563
Tehnica securității în instalațiile electrice 564

Redactor responsabil: ing. Răsmerită Rodica
Tehnoredactor: Niculescu Dumitru

Dat la cules: 09. 10. 65. Bun de tipar: 03. 03. 66. Apărut; 1966. Tiraj: 5000+105 ½ pînză. Hîrtie: tip. II-a 63 g/m², 16/70×100. Coli editoriale: 35.272. Coli de tipar: 36. planșe: 4. A. 12397. C.Z. pentru bibliotecile mari: 621.311.1 (075.36). C.Z. pentru bibliotecile mici: 621.3.

Întreprinderea Poligrafică Cluj, Str. Brassai nr. 5—7. Comanda nr. 7259.

Lei 18,10

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI, 1966